

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Sanela Majača

Zagreb, 2015.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak, dipl. ing.

Student:

Sanela Majača

Zagreb, 2015.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradila samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku i Marini Tošić, mag.ing.mech, na stručnoj pomoći i svim savjetima koje su mi dali tijekom izrade ovog rada.

Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji na razumijevanju i podršci koju su mi pružali, kako tijekom izrade ovog rada, tako i tijekom cijelog školovanja.

Također se zahvaljujem Ivanu na pomoći i razumijevanju tijekom školovanja.

Sanela Majača



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **SANELA MAJAČA**

Mat. br.: 0036452280

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA PRIMJENOM METODA
VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**SELECTION OF MAINTENANCE STRATEGY USING MULTI-
CRITERIA DECISION METHODS**

Opis zadatka:

Izbor strategije održavanja podrazumijeva prepoznavanje najprikladnije alternative održavanja opreme s ciljem smanjenja troškova za organizaciju. Odabir optimalne strategije održavanja opreme u organizaciji je zahtjevan zadatak budući da postoji više materijalnih i nematerijalnih utjecajnih faktora, kao što su troškovi održavanja i vrijeme održavanja, pogodnost opreme za održavanje, potrebne vještine za održavanje, potrebne zalihe, i sl. Samim time, problemi izbora strategija održavanja klasificiraju se kao višekriterijalni problemi odlučivanja.

U radu je potrebno obraditi sljedeće:

1. Opisati strategije održavanja i probleme pri izboru strategija održavanja.
2. Detaljno opisati metode višekriterijalnog odlučivanja, s posebnim naglaskom na AHP i ANP metode.
3. Opisati korake kod izbora strategije održavanja primjenom metoda višekriterijalnog odlučivanja.
4. Primjenom softverskog paketa za višekriterijalno odlučivanje potrebno je prikazati konkretan izbor strategije održavanja.
5. Zaključak.

Zadatak zadan:

7. svibnja 2015.

Rok predaje rada:

9. srpnja 2015.

Predviđeni datum obrane:

15., 16. i 17. srpnja 2015.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Dragutin Lisjak

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS KRATICA	VI
SAŽETAK.....	VIII
SUMMARY:	IX
1. UVOD	1
2. STRATEGIJE U ODRŽAVANJU	2
2.1. Suvremeni pristup održavanju	2
2.2. Tele – održavanje.....	4
2.3. E-održavanje	7
2.3.1. Problemi / izazovi u e-održavanju.....	10
2.4. Dijagnostika u održavanju	11
2.4.1. Osnovne dijagnostičke metode.....	13
2.5. Cjelovito učinkovito održavanje.....	15
2.5.1. Proces uvođenja TPM-a u poduzeće	15
2.5.2. Ciljevi TPM-a.....	19
2.5.3. Problemi implementacije TPM-a	22
2.6. Samoodržavanje.....	23
2.7. Održavanje prema pouzdanosti	25
2.8. Lean održavanje.....	28
2.8.1. Problemi pri implementaciji Lean održavanja	30
3. PROBLEMI KOD IZBORA STRATEGIJE ODRŽAVANJA.....	31
4. VIŠEKRITERIJALNO ODLUČIVANJE.....	33
4.8. Teorijski uvod u višekriterijalno odlučivanje	33
4.9. Metode višekriterijalnog odlučivanja	34
4.9.1. ELECTRE metoda.....	35
4.9.2. TOPSIS metoda.....	36
4.9.3. PROMETHEE metoda	36
4.9.4. Analitički hijerarhijski proces	37
4.9.5. Analitički mrežni proces	46

5. IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA PRIMJENOM VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA.....	53
5.1. Koraci pri izboru strategije održavanja	53
6. IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJE ZA HORIZONTALNI OBRADNI CENTAR HAAS EC-500.....	56
6.1. Općenito o HAAS EC-500	56
6.2. Odabir strategije održavanja AHP metodom.....	58
6.2.1. Rezultati AHP metode odlučivanja	68
6.2.2. Analiza osjetljivosti.....	72
6.3. Odabir strategije održavanja ANP metodom.....	75
6.4. Usporedba ANP i AHP metode	83
7. Zaključak.....	86
LITERATURA.....	1

POPIS SLIKA

Slika 1. pristupi tele-održavanju [3].....	5
Slika 2. Praćenje stanja i prognoza [3]	5
Slika 3. Dijagnostika i održavanje [3]	6
Slika 4. Prijenos podataka [3]	6
Slika 5. Usporedba klasičnog i E-održavanja [4]	7
Slika 6. Poslovni prikaz e-održavanja [4]	8
Slika 7. Faze dijagnostike [6]	12
Slika 8. Primjena vizualne metode [8]	14
Slika 9. Termografsko ispitivanje stanja stroja [9]	14
Slika 10. Ispitivanje penetrantima [10]	14
Slika 11. Ispitivanje vibracija [11]	14
Slika 12. Unapređenje pouzdanosti opreme primjenom TPM [13].....	20
Slika 13. Algoritam zaključivanja [16]	24
Slika 14. Koraci kod RCM strategije [17].....	26
Slika 15. Utjecajni elementi na izbor strategije održavanja [13]	31
Slika 16. Hijerarhijski model AHP strukture [20].....	38
Slika 17. Problem konzistentnosti [25]	41
Slika 18. Linearna hijerarhija [24]	48
Slika 19. Povratna veza [24]	49
Slika 20. Obradni centar HAAS EC-500 [29].....	56
Slika 21. Dimenzije obradnog centra HAAAS [29].....	57
Slika 22. Paletni sustav HAAS [29]	58
Slika 23. Hijerarhijski model odabira strategije održavanja	59
Slika 24. Struktura problema s kriterijima i alternativama	61
Slika 25. Usporedba kriterija parametri vezani za opremu i procese i financijski parametri... 62	62
Slika 26. Usporedba kriterija parametri vezani za opremu i procese i sigurnost na radu	62
Slika 27. Usporedba kriterija financijski parametri i sigurnost na radu	63
Slika 28. Relativne važnosti (težine) kriterija	63
Slika 29. Usporedba učestalost kvarova i OEE.....	64
Slika 30. Usporedba učestalost kvarova i MTTR	64
Slika 31. Usporedba OEE i MTTR	65
Slika 32. Relativna važnost (težine) podkriterija	65
Slika 33. Usporedba podkriterija ušteda održavanja i Troškovi održavanja po jedinici vremena	66
Slika 34. Usporedba podkriterija Broj nesreća i Broj primjedbi o sigurnosti okoline i zdravlju	66
Slika 35. Usporedba FBM i PM s obzirom na podkriterij OEE.....	67
Slika 36. Poredak alternativa s obzirom na Parametri vezani za opremu i procese	68
Slika 37. Poredak alternativa s obzirom na kriterij Financijski parametri	69
Slika 38. Poredak alternativa s obzirom na kriterij Sigurnost na radu	69
Slika 39. Konačni poredak alternativa s obzirom na cilj.....	70

Slika 40. Prioriteti alternativa s obzirom na kriterije u 2D grafu	71
Slika 41. Prioriteti alternativa s obzirom na podkriterije u 2D grafu	71
Slika 42. Usporedba značajnosti alternativa prilikom promjene težina kriterija	72
Slika 43. Graf performansi	73
Slika 44. Analiza osjetljivosti gradijentnim grafom.....	74
Slika 45. Struktura problema ANP metode	76
Slika 46. Matrična usporedba alternativa s obzirom na čvor OEE	77
Slika 47. Usporedba alternativa s obzirom na čvor Učestalost kvarova	77
Slika 48. Usporedba čvorova s obzirom na RCM alternativu.....	78
Slika 49. Zavisnost (petlja) unutar klastera	79
Slika 50. Usporedba čvora unutar jednog klastera s obzirom na čvor unutar drugog klastera	79
Slika 51. usporedba čvorova Broj nesreća i Broj primjedbi o sigurnosti okoliša i zdravlju s obzirom na čvor Ušteda održavanja	80
Slika 52. Težinski koeficijenti čvorova.....	81
Slika 53. Matrica klastera.....	81
Slika 54. Prioriteti alternativa ANP metode	82
Slika 55. Granična supermatrica	83
Slika 56. Usporedba rezultata AHP i ANP metode.....	84

POPIS TABLICA

Tablica 1. Pristupi održavanju [1]	3
Tablica 2: Prikaz koraka uvođenja TPM-a u poduzeće [14]	15
Tablica 3. Saaty-eva skala [20]	39
Tablica 4: Vrijednosti RI slučajnih indeksa [21]	42

POPIS KRATICA

KRATICA ILI POJAM	IZVORNI NAZIV	PRIJEVOD
SPM	Shock Impulse Method	Metoda udarnih impulsa
TPM	Total Productive Maintenance	Cjelovito učinkovito održavanje
OEE	Overall equipment effectiveness	Ukupna efektivnost opreme
RCM	Reliability Centered Maintenance	Upravljanje održavanjem prema pouzdanosti
AHP	Analytic Hierarchy Process	Analitički hijerarhijski proces
ANP	Analytic Network Process	Analitički mrežni proces
ELECTRE	Elimination Et Choice Translating Reality	
TOPSIS	Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution	
DEA	Data Envelopment Analysis	
AIMR	Agregated Indices Randomization Method	
ER	Evidential Reasoning Approach	
OCRA	Operational Competitiveness Rating Analysis	
GRA	Grey Relational Analysis	
SMART	Simple Multi Attribute Rating Technique	

PROMETHEE	Preference Ranking Organization Methods for Evaluation	
MTTR	Mean Time To Repair	Srednje vrijeme popravka
FBM	Failure Based Maintanance	Održavanje temeljeno na kvarovima (korektivno održavanje)
PM	Preventive Maintanance	Preventivno održavanje

SAŽETAK

U prvom dijelu ovog diplomskog rada detaljno su opisane neke od modernih strategija održavanja, kao npr. e-održavanje, lean održavanje, tele-održavanje, RCM, TPM itd. Klasične strategije održavanja kao što su korektivno i preventivno održavanje spomenute su samo na pojmovnoj razini. Također je prikazana kratka usporedba tradicionalnog i suvremenog pristupa održavanju.

U drugom dijelu opisani su problemi koji se javljaju prilikom odabira odgovarajuće strategije održavanja te se odabiru strategije održavanja pristupa kao višekriterijalnom problemu zbog velikog broja ulaznih kriterija koje treba uzeti u obzir prilikom razmatranja pojedinog procesa održavanja.

U trećem dijelu rada definirane su metode višekriterijalnog odlučivanja, detaljno su opisane metode Analitički hijerarhijski proces (AHP) i Analitički mrežni proces (ANP). Prikazane su matematičke osnove navedenih metoda, prednosti i nedostaci te njihova usporedba.

U posljednjem dijelu rada prikazan je konkretan slučaj odabira strategije održavanja na primjeru horizontalnog obradnog centra HAAS EC-500. Za odabir strategije održavanja korištena su dva softverska alata za višekriterijalno odlučivanje: *ExpertChoice* (AHP-metoda) i *Superdecision* (ANP-Metoda).

Također su u ovom dijelu rada prikazani i rezultati odabira strategije održavanja primjenom metoda višekriterijalnog odlučivanja AHP i ANP, prikazana je njihova usporedba te je dan komentar.

Ključne riječi: Strategije održavanja, višekriterijalno odlučivanje, analitički hijerarhijski proces, analitički mrežni proces, *Expert Choice*, *Superdecision*.

SUMMARY:

In the first part of this paper some of the modern maintenance strategies are described. For example: E-maintenance, Lean maintenance, Tele-maintenance, Total productive maintenance, Reliability centered maintenance etc. Classic maintenance strategies such as corrective and preventive maintenance are mentioned only conceptually. Also, in the first part a short comparison of traditional and modern approach to maintenance is shown.

The second part describes the problems that occur when selecting the appropriate maintenance strategy. It is also defined that the selection of appropriate strategy is multicriteria decision, due to the large number of criteria to be taken into account when choosing maintenance strategies.

The third section defines the methods of multicriteria decision making. The methods Analytic hierarchy process and Analytic network process are described in details. Mathematical basis of the methods, methodological foundations of the methods, advantages and disadvantages, and comparison of these two methods are also shown in this part.

In the last part of the paper, the selection of maintenance strategy for Horizontal Machining Center HAAS EC-500 is done. For the selection of appropriate strategy were used two softwers for multicriteria decision making: ExpertChoice (AHP-method) i Superdecision (ANP-Method).

Also, in this part of the paper the results of maintenance strategy selection are shown, and a comment about their comparison is given.

Key words: maintenance strategies, multicriteria decision making, ahp, anp, Expert Choice, Superdecision

1. UVOD

Odabir strategije održavanja predstavlja jednu od najvažnijih odluka u procesu održavanja budući da ne postoji jedinstvena strategija održavanja koja će biti jednako uspješna za sve tvrtke u različitim granama industrije. S razvojem tehnologije i sveprisutnom informatizacijom, počele su se razvijati nove strategije održavanja i pokušava se napraviti prijelaz s tradicionalnih strategija, kao što je korektivno održavanje, na suvremene strategije održavanja, npr.: e-održavanje, TPM, RCM, itd.

Zbog velikog broja kriterija koji se moraju uzeti u obzir prilikom odabira strategije taj problem promatra se kao višekriterijalni. Višekriterijalno odlučivanje predstavlja donošenje odluke kada je prisutno više kriterija, koji su često suprotstavljeni. Glavni cilj metoda višekriterijalnog odlučivanja je poduprijeti donositelje odluka kada postoji veliki izbor alternativa za problem koji je potrebno riješiti.

Cilj ovog rada je prikazati način odabira strategije održavanja primjenom metoda višekriterijalnog odlučivanja uz primjenu odgovarajućih specijaliziranih softverskih alata.

U radu će se dati odgovori na sljedeća pitanja:

1. Koja je razlika između tradicionalnih i suvremenih strategija te koje prednosti donose suvremene strategije?
2. Koji su problemi koji se javljaju prilikom uvođenja strategije održavanja, zašto je teško odabrati strategiju održavanja koja će biti prikladna za određenu tvrtku ili strojeve te koji sve faktori utječu na odabir strategije?
3. Zašto se za izbor strategije održavanja koriste metode višekriterijalnog odlučivanja?

U prvoj cjelini objašnjene su suvremene strategije u održavanju te prednosti i nedostaci tih strategija. U drugoj cjelini dan je prikaz problema kod izbora strategija održavanja. Metode višekriterijalnog odlučivanja i koraci kod izbora strategije održavanja primjenom višekriterijalnog odlučivanja su prikazani u trećoj cjelini. Naposljetku, prikazan je odabir strategije održavanja za horizontalni obradni centar HAAS EC-500 upotrebom dva različita softverska alata (*ExpertChoice* i *Superdecision*) koja podržavaju dvije metode višekriterijalnog odlučivanja (AHP i ANP). Dobiveni rezultati su analizirani i uspoređeni te je odabrana strategija održavanja za navedeni glodači obradni centar.

2. STRATEGIJE U ODRŽAVANJU

Strategija održavanja predstavlja individualni pristup tvrtke izazovima njegovog upravljanja, te kao takva treba reflektirati njene specifičnosti [1]. Kompanije će oblikovanjem i implementacijom odgovarajuće strategije održavanja uvažiti prije svega karakteristike djelatnosti u kojoj posluju, zatim svoju organizaciju, tržišnu poziciju i vlastitu kulturu. Konvencionalne strategije održavanja podrazumijevaju tri najzastupljenija oblika održavanja: korektivno održavanje koje se provodi naknadno, tj. nakon pojave kvara, oštećenja, gubitka i sl., preventivno održavanje koje se vrši u unaprijed definiranim intervalima s ciljem da se spriječi pojava kvara.

Međutim u uvjetima suvremenog poslovanja i izraženog natjecateljskog duha na globalnom tržištu moglo bi se reći da ovi oblici održavanja nisu dovoljni. Od kompanije se zahtjeva strateški pristup održavanju s dugoročnom orijentacijom na njegove performanse te spoznaja uloge upravljanja održavanjem u upravljanju cjelokupnim poslovanjem.

2.1. Suvremeni pristup održavanju

Jedan od najvećih izazova koji se postavljaju pred tvrtku današnjice jest njena kontinuirana proaktivnost [1]. Opstanak tvrtke u uvjetima izražene konkurentnosti ovisi o njejoj sposobnosti da proaktivno promišlja i djeluje. Ona treba prepoznati prilike koje joj se pružaju i opasnosti koje joj prijete, te pružiti adekvatan odgovor. S obzirom da uspjeh tvrtke na tržištu itekako ovisi o vlastitom djelovanju, principu proaktivnosti treba biti dosljedna i u svojim unutarnjim poslovnim procesima, pa tako i održavanju. Primjena novih strategija održavanja zahtjeva korjenitu promjenu organizacije. To podrazumijeva odustajanje od tradicionalnog pristupa održavanju orijentiranog na popravke i orijentaciju na pouzdanost, odnosno, pomak od reaktivnog ka proaktivnom načinu promišljanja. Razlike između starog i novog koncepta upravljanja održavanjem prikazane su u *Tablici 1*.

Tablica 1. Pristupi održavanju [1]

Tradicionalni pristup održavanju	Suvremeni pristup održavanju
Orijentacija na popravke	Orijentacija na pouzdanost
Popravi	Unaprijedi
Majstor	Član poslovnog tima
Rješavaj otkazima	Eliminiraj otkaze
Smanji troškove održavanja	Povećaj vrijeme održavanja
„Akcija program mjeseca“	Kontinuirano unaprjeđivanje
Vjerovanje da su otkazi neizbježni	Vjerovanje da su otkazi samo izuzeci
Nizak udio planskih poslova	Visok udio planskih poslova
Mnogo reklamacija	Malo reklamacija
Niska pouzdanost	Visoka pouzdanost
Visoki troškovi održavanja	Niski troškovi održavanja
Kratkoročni planovi	Dugoročni planovi
Neprofitni karakter	Privlači investicije

Iskustva pokazuju da je za prelazak s klasičnog na suvremeno, ili kako se još često naziva proaktivno upravljanje održavanjem, potrebno vremensko razdoblje u trajanju od pet do osam godina. Promjena se odnosi na napuštanje kratkoročnih ciljeva i orijentaciju tvrtke k njenim dugoročnim ciljevima i strategijama. Sigurno je da će se promjenom koncepta održavanja pokazatelji uspješnosti poboljšati.

Korektivno, preventivno, terotehnoško, održavanje po stanju danas spadaju u tradicionalne strategije održavanja. U ovom radu naglasak je stavljen na suvremene strategije održavanja, tj. strategije koje se razvijaju u novije vrijeme.

Zbog toga su tradicionalne strategije održavanja spomenute samo na pojmovnoj razini dok će neke od suvremenih strategija održavanja biti detaljnije objašnjene u narednim poglavljima.

2.2. Tele – održavanje

Tele-održavanje je termin koji se rabi za opis elektroničkog prijenosa podataka ili informacija između održavatelja i drugog pojedinca ili izvora [2]. Služi da bi se povećala stručnost pojedinca opskrbljujući ga informacijama „izvana“ baš kada je to potrebno.

Tele održavanje koristi se najčešće u vojsci. Ohrabrena rastom komunikacijske tehnologije, koja je rezultirala procvatom tele-aplikacija u komercijalnom sektoru, vojska počinje istraživati kako i gdje bi tele-održavanje moglo povećati učinkovitost održavanja u vojsci.

Prednosti tele-održavanja su brojne i uključuju [2]:

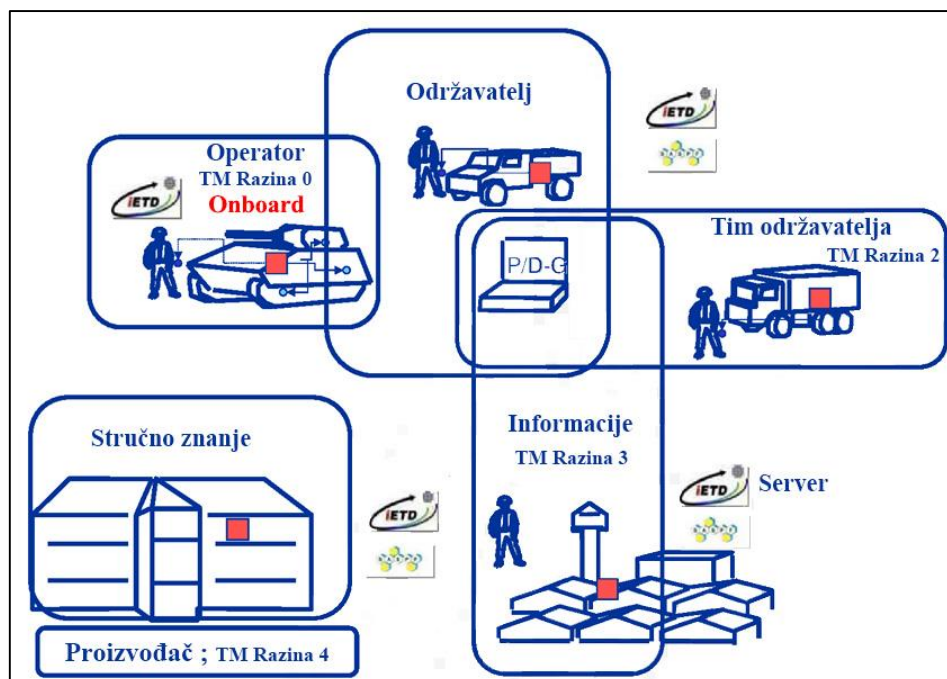
1. Izbjegavanje kašnjenja u procesu održavanja
2. Ukoliko se pravilno primijeni može povećati efikasnost resursa održavanja
3. Osiguranje točnosti podataka
4. Pružanje visoke tehničke stručnosti na radnom mjestu
5. Olakšavanje popravaka na najnižoj mogućoj razini održavanja

Mogućnosti tele-održavanja mogu se gledati iz dvije perspektive.

1. Vanjska oprema, kao što je telefon, kompjuter, prijenosna video kamera s komunikacijskim sposobnostima
2. Oprema instalirana unutar organizacije (sateliti) koja izvještava o performansama i podacima o opremi pružajući povratne informacije, a može čak imati mogućnost korektivnih akcija na daljinu

Osnovni cilj koji tele-održavanje treba ispuniti je učiniti informacije potrebne održavateljima dostupnim online, te poboljšati informacije dodajući dodatna stručna znanja na pravovremen i odgovarajući način.

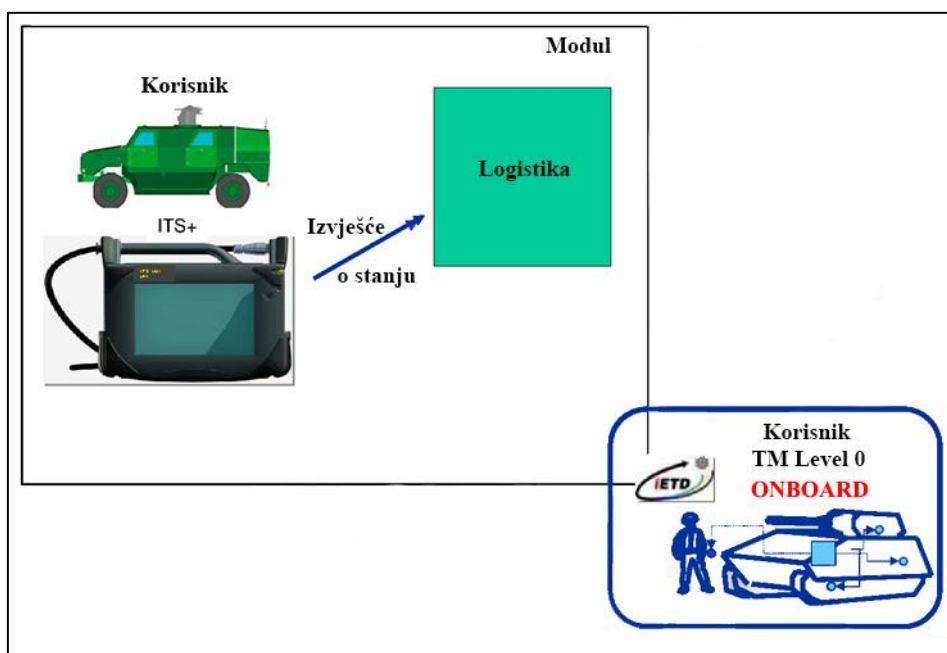
Slika 1 prikazuje pristup tele-održavanju na 4 razine, a koji će kasnije biti prikazan detaljnije kroz module.



Slika 1. pristupi tele-održavanju [3]

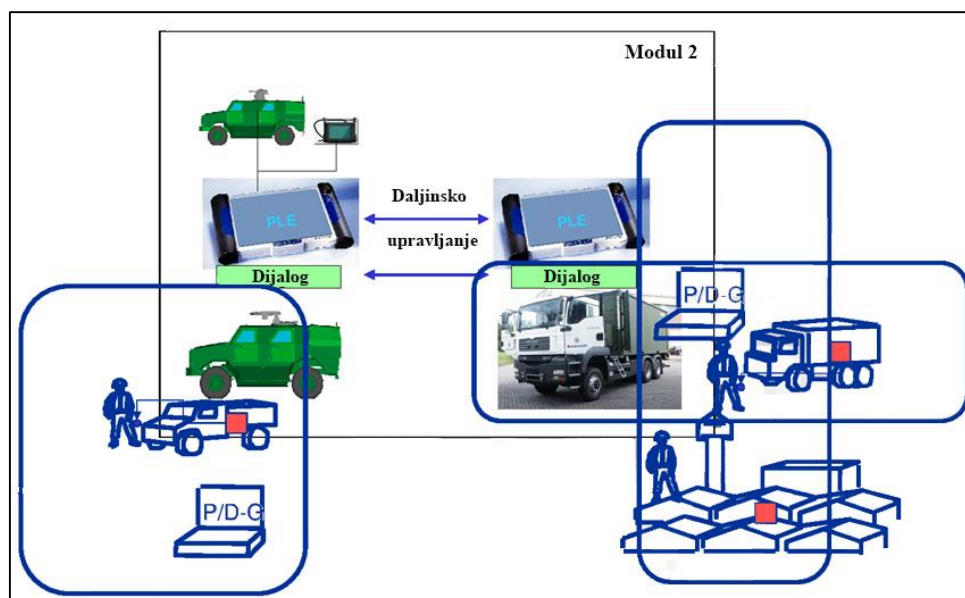
Tele-održavanje je proces koji se u vojsci provodi u obliku 3 modula [3].

Prvi modul tele-održavanja je praćenje stanja i prognoze (Slika 2). Operator tj. korisnik stroja/opreme predstavlja razinu 1 tele-održavanja. Operator prati stanje opreme i pomoću uređaja za tele-komunikaciju javlja o eventualnim promjenama.



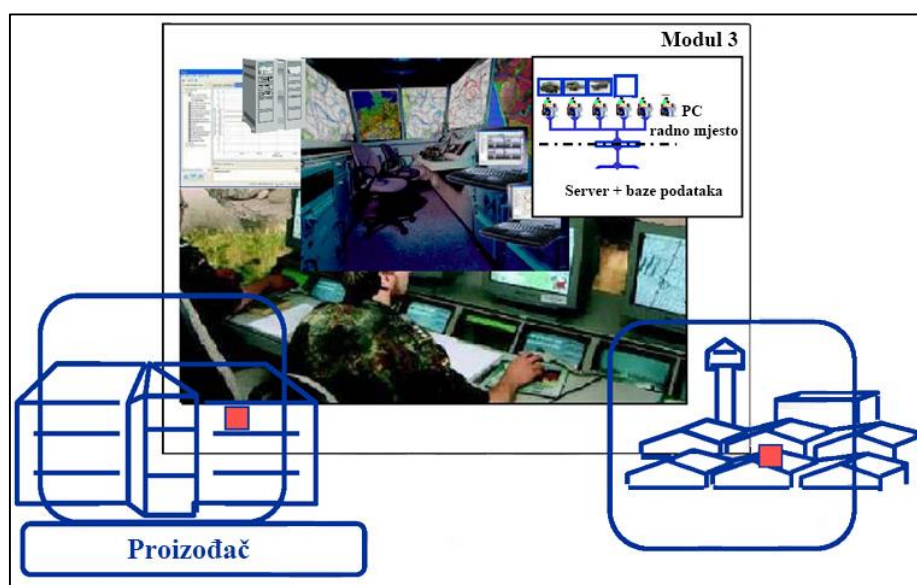
Slika 2. Praćenje stanja i prognoza [3]

Drugi modul tele-održavanja je dijagnostika i održavanje (*Slika 3*). Održavatelj ili tim održavatelja metodama dijagnostike provjeravaju opremu i pripremaju je za održavanje. Komunikacija se odvija preko specijaliziranih uređaja.



Slika 3. Dijagnostika i održavanje [3]

Treći modul je najvažniji i ključan u cijelom procesu tele-komunikacije. Prijenos podataka, tj. razmjena podataka, između tima održavatelja i stručnih centara koje posjeduju znanje potrebno u procesu održavanja (*Slika 4*).



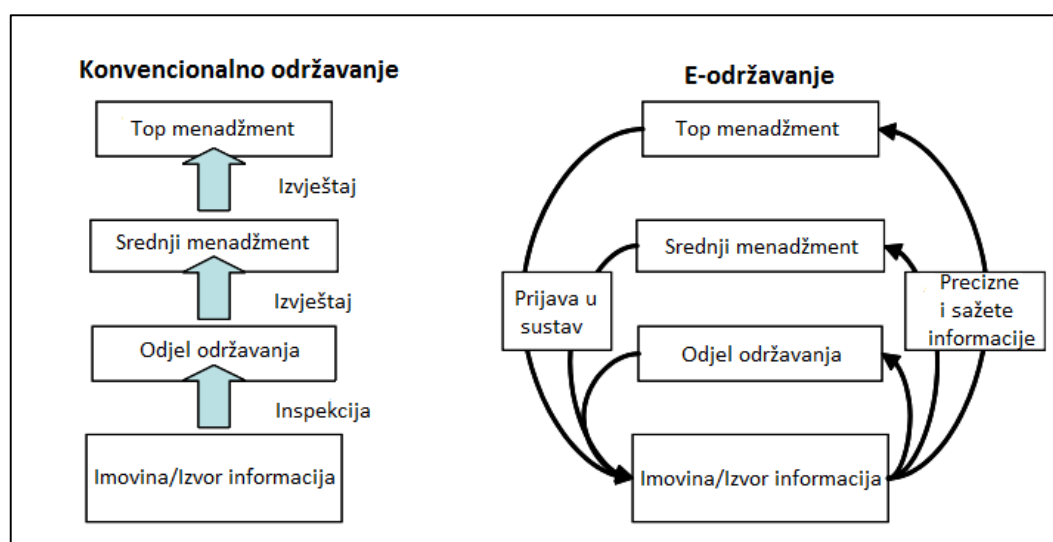
Slika 4. Prijenos podataka [3]

Prijenos podataka odvija se preko servera i baza podataka, komunikacija se odvija na velikim udaljenostima, gdje najvažniju ulogu imaju upravo stručni centri koji raspolažu znanjem.

2.3. E-održavanje

Termin e-održavanje pojavio se u ranim 2000-tim i danas je vrlo čest pojam u održavanju [4].

Pojam e-održavanje koji se danas koristi u industriji odnosi se na integraciju informacijskih i komunikacijskih tehnologija u strategije održavanja [4]. Na *Slici 5* prikazana je razlika između klasičnog održavanja (održavanje orijentirano na popravke) i e-održavanja.



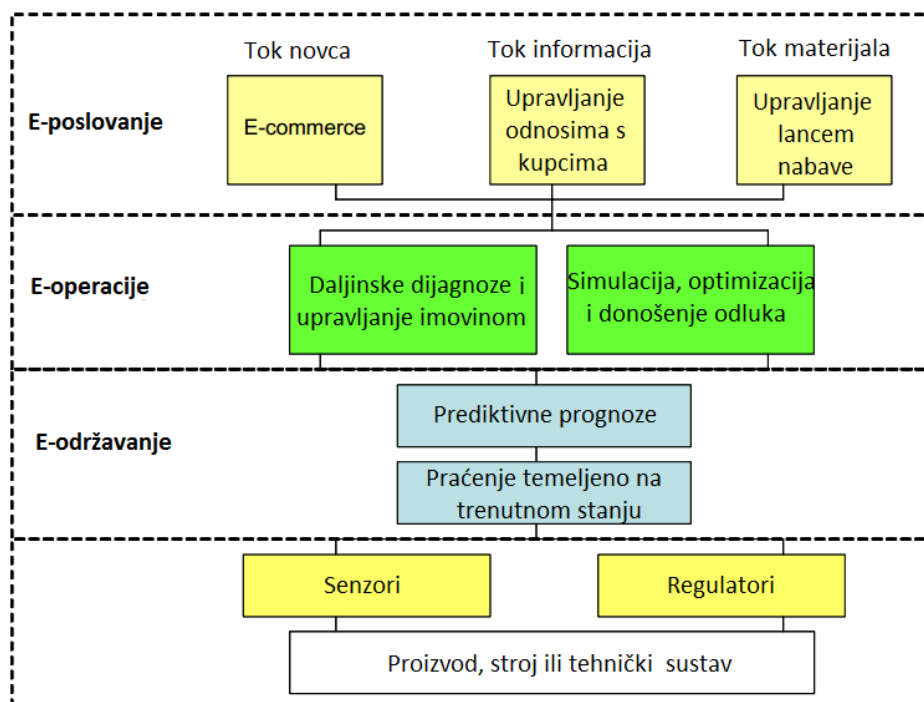
Slika 5. Usporedba klasičnog i E-održavanja [4]

E-održavanje uvodi se kako bi se poduzeća što lakše suočila s novim problemima u održavanju i kako bi održavanje predstavljalo što bolju potporu proizvodnji. E-održavanje definira se kao strategija održavanja gdje se zadacima održavanja upravlja elektronički, koristeći podatke o opremi i tehničkom sustavu koji se dobivaju u realnom vremenu.

Podaci i informacije dostupni su zahvaljujući digitalnoj tehnologiji (mobilni uređaji, internetske tehnologije, itd.)

Prema tome, e-održavanje postoji kao podrška klasičnom održavanju, koja uključuje resurse, servise i menadžment, potreban da bi se omogućilo proaktivno donošenje odluka.

Ta potpora uključuje suradnju na svim razinama poduzeća, uključujući, e-poslovanje, e-operacije itd. (Slika 6).



Slika 6. Poslovni prikaz e-održavanja [4]

Primjena e-održavanja ima važnu ulogu pri donošenju odluka. Kombinacija modernog načina procesuiranja informacija i komunikacijskih alata nudi tehničku podršku koja je potrebna da bi se pristupilo željenim informacijama.

Olakšava transfer informacija i znanja između različitih specijalista održavanja unutar poduzeća, kako bi oni mogli zajednički surađivati na rješavanju problema.

Takva bežična tehnologija u poduzećima donosi smanjenje troškova, povećanje fleksibilnosti u proizvodnji i povećanje dostupnosti podataka.

Poboljšanja u strategiji održavanja uvođenjem e-održavanja

a) Održavanje na daljinu

Korištenjem bežične internet tehnologije korisnici se mogu prijaviti u sustav iz bilo kojeg kraja svijeta i bilo kojom vrstom uređaja koji posjeduje internet vezu [4].

Operatori, menadžeri i stručnjaci održavanja imaju mogućnost spajanja preko interneta, što im omogućava akcije na daljinu kao što su konfiguracija, kontrola, dijagnoza, popravak, praćenje stanja, prikupljanje podataka i analiza.

Jedna od najvećih prednosti e-održavanja je mogućnost povezivanja nižih (radnih) sustava s ekspertnim centrima koji se nalaze na različitim lokacijama, te na taj način omogućavaju komunikaciju radnika održavanja sa stručnjacima održavanja. Time se dodaje vrijednost poduzeću, snižavaju troškovi i eliminiraju gubici.

b) Korporativno e-održavanje

E-održavanje daju priliku za implementaciju informacijske infrastrukture kojom se povezuju geografski raspršeni podsustavi i sudionici (npr. dobavljači s klijentima i radnici s inženjerima) [4]. To se odvija na razini internetskih tehnologija. Platforma na kojoj se odvija komunikacija omogućava snažnu kooperaciju između korisnika, odjela i različitih poduzeća.

Platforma za e-održavanje u poduzeću povećava razinu transparentnosti i efikasnosti, što dovodi do manje pogrešaka u procesima održavanja, poboljšanja komunikacije, skraćanja vremena povratnih informacije i poboljšanja kvalitete posla.

c) Trenutno/online održavanje

Praćenje stanja opreme u realnom vremenu omogućava operaterima održavanja da odgovore na bilo koju situaciju i optimalno se pripreme za intervenciju. Također, dolazi do redukcije kompleksnosti tradicionalnog održavanja prijelazom na online donošenje odluka i analizu stanja sustava.

d) Prediktivno održavanje

Platforma e-održavanja omogućava prognoze otkaza opreme koje se temelje na trenutnom stanju opreme i očitovanju trenutnog stanja.

E-održavanje omogućava kompanijama da prate svoju imovinu preko internet alata kako bi spriječili moguće otkaze.

Poboljšanja na alatima održavanja koristeći e-održavanje

a) Analiza otkaza

E-održavanje omogućava razumijevanje uzorka kvarova i poremećaja u sustavu, bolje praćenje i korištenje različitih metoda analize kvarova [4]. Najvažnija uloga e-održavanja u ovom području je pomak od detektiranja kvarova prema praćenju poremećaja i prognoziranju kvarova.

b) Dokumentacija u održavanju

Platforma za e-održavanje pruža transparentne i automatizirane procese izmjene informacija te pristup dokumentaciji na jedinstven način neovisno o izvoru informacija i mjestu gdje su informacije pohranjene. Informacijama i podacima koji se jednom unesu u sustav mogu se koristiti sve sudionici.

Poboljšanja aktivnosti održavanja koristeći e-održavanje

a) Lokalizacija/dijagnoza pogreške

E-održavanje nudi stručnjacima mogućnost da izvode online dijagnoze pogrešaka, dijele iskustva o pogreškama s ostalima i predlažu operaterima oprez ukoliko se pojave poteškoće u sustavu koji se nadzire. Time se smanjuje vrijeme komunikacije između stručnjaka održavanja i proizvodnje, povećava se kvaliteta izmijenjenih informacija što dovodi do smanjenja vremena dolaska do rješenja potencijalnog problema.

b) Popravci

Operatori održavanja mogu pomoću e-održavanja doći do znanja stručnjaka o mogućim popravcima bez sazivanja sastanaka i eventualnih putovanja. Otkaz sustava se smanjuje zbog brze reakcije između stručnjaka i održavatelja.

2.3.1. Problemi / izazovi u e-održavanju

Postoje različiti problemi u primjeni e-održavanja. Važan problem koji se javlja je problem sigurnosti do kojeg može doći prilikom transakcija koje se odvijaju preko interneta [4]. Osim toga, potrebno je restrukturirati ljudske potencijale što se često pokazuje kao problem. Potreban je trening i priprema ljudi na novi način rada. Svaki sudionik održavanja treba biti sposoban nositi se s brzinom toka informacija i razumjeti rad sustava.

Izgradnja sustava za e-održavanje uključuje probleme integracije kao što su [4]:

- Razvoj mehanizama pretvorbe podataka
- Dizajn komunikacijskih poruka
- Izbor protokola za prijenos podataka
- Izgradnja sigurne mrežne veze

Isto tako, uvjet za uspješnu integraciju e-održavanja je da procesi u održavanju budu stabilni i sposobni, tj. struktura održavanja ne smije se mijenjati kratkoročno.

Kako bi se e-održavanje uspješno implementiralo potrebno je razviti distribuirano računarstvo za optimizaciju i sinkronizaciju sustava za dinamično donošenje odluka.

Kako e-održavanje uključuje velike količine podataka, informacija i znanja neke je procese potrebno decentralizirati na što nižu razinu (npr. razinu senzora).

2.4. Dijagnostika u održavanju

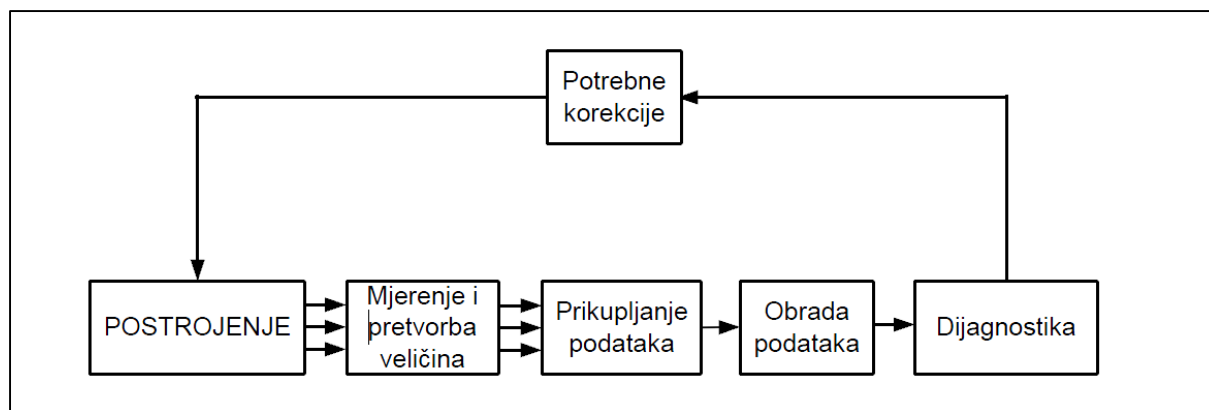
Dijagnostika je pravovremeno ili periodičko određivanje stanja nekog stroja s ciljem procjene pouzdanosti daljnjeg pogona i predlaganja načina i obujma servisiranja [6]. Uloga je dijagnostike otkrivanje kvarova stroja ili pojedinih njegovih dijelova u najranijoj mogućoj fazi. Nadzorom stanja strojeva, olakšava se planiranje održavanja i popravaka, čime se vrijeme zastoja pogona nastalo zbog zamjene i popravaka strojeva, svodi na najmanju moguću mjeru. U slučajevima kada se nadzor kvalitetno provodi, izbjegnuta su mnoga nepotrebna zaustavljanja pogona. Osnova je dijagnostike usporedba stvarnih i željenih ponašanja odnosno parametara stroja. Osim teorijskih znanja vrlo je korisno i iskustveno poznavanje ponašanja stroja u pojedinim kvarnim režimima.

Dijagnostika stanja nekog procesa ili sustava složen je i zahtjevan zadatak.

Karakteristične su faze rada u takvom procesu [6]:

- a) mjerenje karakterističnih veličina i pretvorba
- b) prikupljanje podataka
- c) obrada podataka
- d) dijagnostika

Cijeli proces može biti potpuno automatiziran, no neki njegov dio može djelomično ili u potpunosti obavljati čovjek. Svaki je dio procesa za sebe često vrlo složen zadatak i za uspješnu je dijagnostiku vrlo važno da se kvalitetno riješi svaki od njih. Na *Slici 7* prikazane su faze dijagnostike.



Slika 7. Faze dijagnostike [6]

Održavanje industrijskih postrojenja i tehničkih sustava danas je nezamislivo bez upotrebe suvremenih dijagnostičkih postupaka i dijagnostičke opreme [7]. Tehnički sustavi danas zahtijevaju sofisticiranu opremu za njegovo održavanje. Zbog tih se razloga tijekom projektiranja i razvoja novih sustava od projektanata i konstruktora zahtijeva da se pobrinu i o razvoju dijagnostičke opreme koja se ugrađuje ili posebno isporučuje uz tehnički sustav. Na taj način se osigurava pogodnost sustava za servisiranje i njegovo održavanje, odnosno podiže se njegova ukupna kvaliteta te se povećava zadovoljstvo korisnika i ljudi zaduženih za njegovo održavanje. S druge strane, kod već razvijenih tehničkih sustava koji nemaju ugrađenu dijagnostičku opremu u svoj sustav, na održavateljima i na službi održavanja je da razvijaju tehnička pomagala s kojima će biti efikasniji i uspješniji kod preventivnih i korektivnih akcija.

Stanje dijagnostičkih parametara može se pratiti kontinuirano (uz mjerenje određene fizičke veličine s određenom točnošću) ili diskretno (uz kontrolu postoji li ili ne postoji određeni signal, ili se radi jednostavno prebrojavanje).

Utvrđivanje stanja stroja jedan je od ključnih problema u procesu održavanja. Potrebno je pratiti promjenu stanja pojedinih elemenata i sklopova koji vremenom dovode do slabljenja, a ako se ništa ne poduzima i do kvara, odnosno prekida rada. Također je nužno da se u slučaju iznenadnog kvara otkrije što je uzrok kvara i kako ga otkloniti.

Dijagnostika u održavanju treba ustvrditi stanje sustava ili dijela sustava bez njegovog demontiranja, a poželjno je i bez zaustavljanja. Okosnica dijagnostike je mjerenje stanja sustava, odnosno mjerenje odabranog parametra. S usporedbom dijagnostičkih parametara (mjerni rezultati), s unaprijed definiranim graničnim vrijednostima, donosi se odluka o stanju sustava te je li potrebna zamjena ili popravak nekih komponenti. Ako nije, pokušava se

predvidjeti koliko će dugo sustav raditi ispravno. Provjera stanja može biti kontinuirana ili periodička. Kontinuirana provjera se radi stalno i obavlja ju neki uređaj. Periodička provjera se obavlja u pravilnim vremenskim razmacima, a može ju obavljati uređaj ili čovjek.

Dijagnostika održavanja su sve aktivnosti koje se provode s ciljem ocjene trenutnog stanja tehničkog sustava radi poduzimanja aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog sustava u budućnosti [7]. Kod održavanja prema stanju kontinuirano se prate definirani parametri i intervenira se samo onda ako je određena mjera izvan određenih granica. U slučajevima gdje je stopa kvara konstantna i kad se želi izvoditi preventivno održavanje, treba odabrati održavanje po stanju.

Teoretska postavka metoda održavanja po stanju zasniva se na "pregledu stanja", odnosno na diskretnom ili kontinuiranom "praćenju stanja" sastavnih elemenata sustava, te na uočavanju ili prognoziranju vremenskog trenutka dostizanja graničnih vrijednosti parametara stanja. Prema rezultatima pregleda, odnosno "provjere stanja", poduzimaju se postupci održavanja s odgovodom.

2.4.1. Osnovne dijagnostičke metode

Osnovne dijagnostičke metode dijele se na subjektivne metode koje su vezane na osjetila vida i sluha te na objektivne metode koje služe za mjerenje željenih parametara korištenjem mjernih uređaja [8].

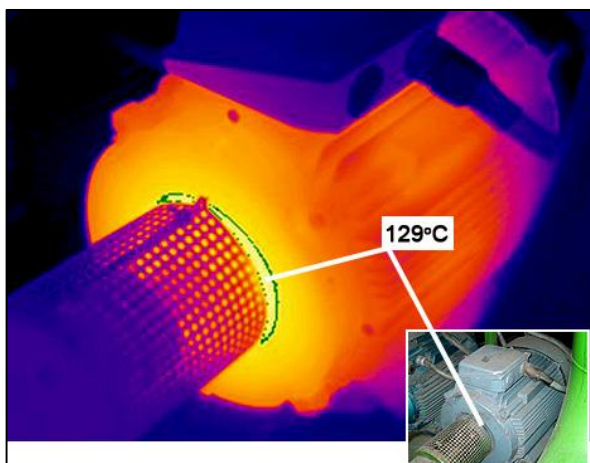
Dijagnostičke metode:

- Vizualne metode ili endoskopija dijele se na direktne i indirektne metode (*Slika 8.*)
- Termografija - ispitivanje električnih sklopova i instalacija pomoću kontaktnog termometra ili IC kamere (*Slika 9.*).
- Mjerenje tlaka
- Spektrografska analiza ulja
- Ferografska analiza čestica
- Penetrantske metode (*Slika 10.*):
 - Čišćenje površine
 - Nanošenje penetranta
 - Čišćenje penetranta
 - Nanošenje razvijaa

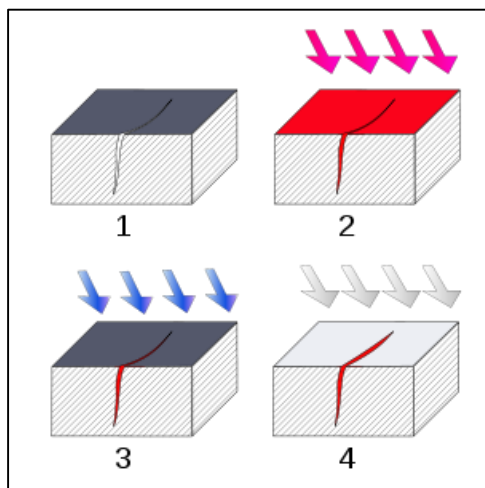
- Pregled pukotina
- Magnetske metode - Promatranje pukotina pomoću željezne prašine (nakupine prašine signaliziraju pukotinu)
- Ultrazvučni test
- Analiza vibracija (*Slika 11.*)
- Metoda udarnih impulsa (SPM)



Slika 8. Primjena vizualne metode [8]



Slika 9. Termografsko ispitivanje stanja stroja [9]



Slika 10. Ispitivanje penetrantima [10]



Slika 11. Ispitivanje vibracija [11]

Metoda udarnih impulsa, također poznata kao SPM, je patentirana tehnika za mjerenje udarnih valova (impulsa) koji nastaju zbog prolaska kotrljajućeg ležaja preko oštećenja te služi kao temelj za učinkovito praćenje stanja strojeva [12]. Od inovacije postupka u 1969. godini do

sada se razvila i proširila diljem svijeta te je postala prihvaćena filozofija za praćenje stanja kotrljajućih ležajeva i održavanje strojeva.

2.5. Cjelovito učinkovito održavanje

Cjelovito učinkovito održavanje (*eng. Total Productive Maintenance*) je pristup koji se razvio u Japanu i počeo se primjenjivati u visokoautomatiziranoj i masovnoj proizvodnji [13]. Ideja autora S. Nakajime jest povjeravanje niza zahvata održavanja rukovateljima opreme, koji čine male grupe s definiranim inputima i outputima, pa, prema tome sigurno najbolje motiviranim za maksimalnu raspoloživost opreme, jer im o tome ovise učinkovitost, zarada i uspjeh cijele grupe unutar određene tvrtke.

2.5.1. Proces uvođenja TPM-a u poduzeće

Sam proces uvođenja TPM autor je razradio u tri faze i dvanaest koraka [14]. U nastavku su objašnjeni svih 12 koraka te ključne točke i akcije koje se poduzimaju u svakom od koraka.

Tablica 2. Prikaz koraka uvođenja TPM-a u poduzeće [14]

Koraci	Ključne točke	Akcije
1. Odluka rukovodstva	Top menadžment na službenom sastanku uprave i putem biltena poduzeća najavljuje TPM	Pregledna vježba TPM-a top menadžmenta Case study TPM-a ili probni timski rezultati Procjena spremnosti TPM-a Pridobivanje top menadžmenta Predanost top menadžmenta implementaciji TPM-a

<p>2. Informiranje i izobrazba rukovodećih kadrova</p>	<p>Grupni trening višeg menadžmenta</p> <p>Prezentacija i osvrt na TPM za preostale zaposlenike</p>	<p>Trening menadžmenta</p> <p>Promocija TPM filozofije zaposlenicima</p> <p>Osvrt na TPM i prezentacija svim nivoima menadžmenta</p> <p>Osvrt na TPM i prezentacija svim zaposlenicima</p>
<p>3. Postavljanje organizacijske strukture za vođenje</p>	<p>Upravljački odbor TPM-a i specijalistički pododbori</p> <p>Ured za promoviranje TPM-a</p>	<p>Uspostaviti upravljački odbor TPM-a načinjen od članova Top menadžera, koji predstavljaju sve funkcije u poduzeću</p>
<p>4. Dijagnostika postojećeg stanja i početak mjerenja</p>	<p>Odrediti osnovni pravac i ciljeve</p>	<p>Prepoznati i zaposliti ljude u TPM promotivnom uredu koji će odgovarati top menadžmentu.</p> <p>TPM promotivni ured mora biti sačinjen od TPM koordinatora, TPM moderatora (1 na 12 timova) i stručnjaka za TPM sadržaje.</p> <p>Prepoznati vođe TPM-a i odrediti njihov nivo odgovornosti</p> <p>Odrediti misiju i strategiju</p> <p>Uključiti TPM u poslovne planove</p> <p>Razviti TPM plan korak po korak</p>

	Odrediti osnovni pravac i ciljeve	<p>Odrediti politiku TPM</p> <p>Odrediti početne ciljeve TPM-a</p> <p>Odrediti metodologiju cjelokupne efikasnosti opreme i definirati kategorije gubitaka</p> <p>Sustav prikupljanja podataka za implementaciju</p> <p>Kreirati mehanizam za izvještaje o cjelokupnoj efikasnosti opreme</p> <p>Prikupiti sve podatke iz trenutačne baze podataka</p> <p>Pronaći operacije uskog grla i usko grlo opreme</p> <p>Odrediti alate za probni projekt/e</p> <p>Izabrati sponzore za probni projekt/e</p> <p>Odrediti TPM kompenzacije, nagrade i sustav za identifikaciju</p>
5. Izradba programa	Glavni plan pripremne faze i priprema TPM nagrada	<p>Kreirati plan održavanja TPM-a</p> <p>Odrediti potrebne vještine zaposlenika</p> <p>Razvojni tečaj</p>
6. Lansiranje zacrtanih zadataka	Glavni plan pripremne faze i priprema TPM nagrada	<p>Top menadžment prezentira politiku TPM-a, ciljeve i glavni plan svim zaposlenicima</p> <p>Osigurati dugotrajnu predanost upravljačkog tima</p>

<p style="text-align: center;">7.</p> <p style="text-align: center;">Analiza i otklanjanje glavnih uzroka lošeg rada</p>	<p style="text-align: center;">Sprovesti aktivnosti poboljšanja</p> <p style="text-align: center;">Uspostaviti i razviti program autonomnog održavanja</p> <p style="text-align: center;">Implementirati plan planskog održavanja</p> <p style="text-align: center;">Izvršiti operativni treening i treening održavanja</p>	<p style="text-align: center;">Treening timskih vještina</p> <p style="text-align: center;">Treening procesa TPM-a</p> <p style="text-align: center;">Treening aktivnosti odbora TPM-a</p> <p style="text-align: center;">Treening rješavanja problema</p> <p style="text-align: center;">Komunikacijski treening</p> <p style="text-align: center;">Prepoznati , demonstrirati i komunicirati kako bi se doprinijelo zadovoljstvu klijenta</p> <p style="text-align: center;">Lansirati timske projekte</p> <p style="text-align: center;">Uspostaviti revizije TPM procesa</p> <p style="text-align: center;">Uspostaviti, analizu ušteda za timske projekte</p> <p style="text-align: center;">Uspostaviti preglede završenih projekata Obnoviti i ponoviti ciklus</p>
<p style="text-align: center;">8. Razvoj samoodržavanja</p>	<p style="text-align: center;">Razviti optimalno vertikalno pokretanje proizvodnje, procesa i opreme</p> <p style="text-align: center;">Uspostaviti, održati i kontrolirati uvjete za ostvarenje nula zastoja, kvarova, defekata i nesreća</p>	<p style="text-align: center;">Timski TPM treening</p> <p style="text-align: center;">Timski TPM treening</p>
<p style="text-align: center;">9. Razvoj programiranog održavanja</p>	<p style="text-align: center;">Uspostaviti, održati i kontrolirati uvjete za ostvarenje nula zastoja, kvarova, defekata i nesreća</p>	<p style="text-align: center;">Timski TPM treening</p>
<p style="text-align: center;">10. Poboljšanje tehničkih znanja djelatnika</p>	<p style="text-align: center;">Poboljšati učinkovitost podrške proizvodnje</p>	<p style="text-align: center;">Timski TPM treening</p>

	Poboljšati i usmjeriti administrativne i uredske funkcije	Proširiti se unutar poduzeća
11. Upotreba dobivenih znanja u stvaranju podloga za nove strojeve	Osigurati sustave za sprječavanje nesreća Osigurati sustave za održavanje nivoa sigurnosti i zdravlja	Timski TPM trening
12. Naljepnica TPM (Kontinuirano poboljšavanje TPM sustava)	Povisiti timske ciljeve Uspostaviti revizije Prijaviti se za nagradu JIPM (proizvoljno)	Razumjeti i postići TPM kriterij za nagrađivanje Napraviti reviziju TPM procesa Razumjeti i postići TPM kriterij za nagrađivanje

2.5.2. Ciljevi TPM-a

TPM nije kratkotrajan program za rješavanje problema i smanjenje troškova održavanja. To je proces koji mijenja korporativnu kulturu i trajno poboljšava i održava ukupnu učinkovitost opreme kroz aktivno sudjelovanje i operatora i svih članova organizacije.

Ciljevi TPM-a su [13]:

1. Povećanje produktivnosti strojeva

- Postići pouzdanost strojeva
- Učiniti ulaganja rentabilnim
- Prolongirati ulaganja u kapacitete

2. Razvoj poduzeća

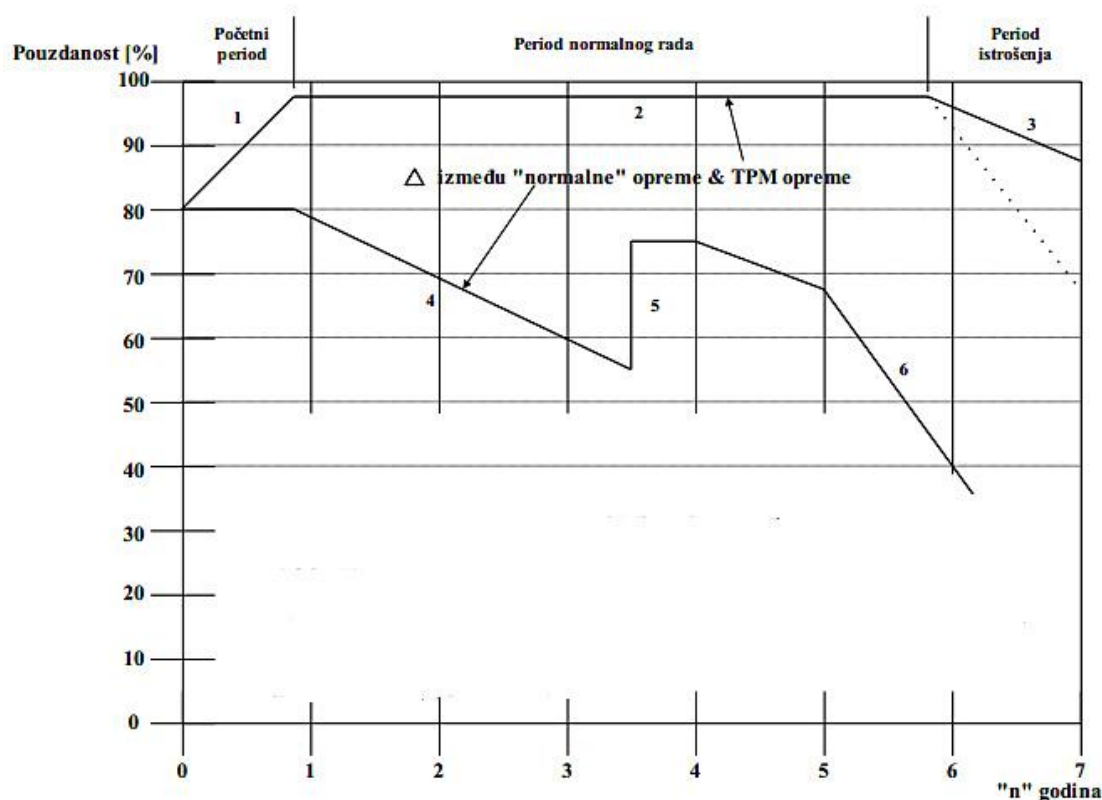
- Uštediti vrijeme stručnjaka
- Osigurati zacrtani plan razvoja
- Olakšati uvođenje nove opreme

3. Poboljšanje radnih metoda

- Smanjiti hitne intervencije
- Racionalizirati održavanje
- Točno definirati kako postupati s opremom
- Poboljšati uvjete rada (sigurnost)

Na *Slici 12* prikazano je koji su ciljevi postignuti na opremi primjenom TPM metode. Unapređenje pouzdanosti i životnog vijeka opreme primjenom TPM-a [13]:

1. Unapređenje nove opreme, podignuti brzinu izvedbe, otkloniti konstrukcijske pogreške
2. Održavati opremu na najvišoj razini performansi produžiti opremi vrijeme korištenja
3. Smanjiti posljedice trošenja, zamijeniti dotrajale dijelove
4. Vremenske performanse loše održavane opreme
5. Rekonstrukcija ili veći popravci opreme (skupo, gubitak u proizvodnji)
6. Rano trošenje, skraćen život



Slika 12. Unapređenje pouzdanosti opreme primjenom TPM [13]

Ono što je također otkriveno kroz TPM je da ako oprema ne da 100 % svog potencijala, to je zbog nekih fizičkih pojava koje se mogu prepoznati, dovesti pod kontrolu, smanjiti i možda čak i eliminirati. Identificirano je šest kategorija gubitka opreme [13]:

1. prekid i za vrijeme kvarova opreme;
2. postavke i nepotrebne prilagodbe;
3. prazan hod i manja zaustavljanja;
4. smanjena brzina obrade;
5. početni gubici;
6. prerada i izbacivanje iz uporabe.

Prema načelima TPM-a, u svakom proizvodnom procesu postoje tri obilježja čiji se gubici moraju anulirati, tj. obilježja se moraju unaprijediti do stanja “nula gubitaka” (eng. *Zero loss*) [15]. Ta tri obilježja su: raspoloživost proizvodne opreme, kvaliteta izrade i brzina izrade. Cilj eliminacije gubitaka je postići najbolje proizvodne karakteristike/performanse svaki puta kada je proizvodni sustav u pogonu, te smanjiti količinu sigurnosnih zaliha iz tvornice (postaju nepotrebne jer sustav radi stabilno). Svako unapređenje koje vodi prema stanju “nula gubitaka”, rezultira smanjenjem troškova ili povećanjem dodatne vrijednosti proizvoda, što je jednako povećanju profita. Da bi se ta obilježja (raspoloživost, kvaliteta i brzina) mogla kvantificirati i uspoređivati, iskazuju se ukupnom efektivnošću opreme-OEE (eng. *Overall equipment effectiveness*).

Proračun OEE-a vrši se množenjem triju veličina: raspoloživosti (%), kvalitetom izrade (%) i brzinom izrade (%):

$$\text{Raspoloživost} = \frac{t_{\text{rad}}}{(t_{\text{rad}} + t_{\text{zastoj}})} * 100 \% \quad (2.1)$$

$$\text{Kvaliteta izrade} = \frac{n_{\text{gotovih proizvoda}} - n_{\text{defektnih proizvoda}}}{n_{\text{obrađenih proizvoda}}} \quad (2.2)$$

$$v_{\text{izrade}} = \frac{t_{\text{komadno}} * n_{\text{gotovih proizvoda}}}{t_{\text{rad}}} \quad (2.3)$$

$$\text{OEE} = \text{Raspoloživost} * \text{Kvaliteta izrade} * \text{Brzina izrade} \quad (2.4)$$

Uobičajeno se smatra da je vrijednost od 85% OEE, na više, rezultat koji upućuje na prvoklasnu proizvodnju. No, ta se granica u zadnjih 5 godina povisila na 94% OEE. Većina kompanija

projekt unapređenja započne s rezultatima oko 65% OEE, no čest je slučaj da se veličine lažno povećavaju.

2.5.3. Problemi implementacije TPM-a

Mnogo pokušaja implementacije TPM-a rezultira neuspjehom. Razloga za neuspjeh ima puno poput nedostatka razumijevanja utjecaja TPM-a, bez podrške uprave nema ni rezultata, nedovoljno educiranih zaposlenika o TPM-u, sindikalni otpor nastao zbog nepoznavanja TPM-a i njegovih mogućnosti i ciljeva, nedostatak upornosti i motivacije, loše razvijena strategija odnosno krivi pristup implementaciji. TPM je velika promjena u poduzeću te može imati utjecaja na strukturu poduzeća, na podjele odgovornosti zaposlenika, način funkcioniranja samog proizvodnog procesa, na učinkovitost itd. [14].

Jedanaest prepreka uspješnoj implementaciji TPM-a [14]:

1. Podcjenjivanje zadatka

„Izvrsnost zahtijeva apsolutnu predanost mogućnostima procesa, smanjenju varijacija, i kreaciju provjera znanja zaposlenika“

2. Nedostatak opće suglasnosti u poduzeću

3. Podcjenjivanje važnosti znanja

„Često menadžeri smatraju da je trud jedini faktor koji nedostaje da se postigne odlična efikasnost“

4. Kompleksnost kvari učinak

Praćenjem uspostavljenog standardnog procesa implementacije strategije i procesa TPM-a, reducira se kompleksnost.

5. Nedosljedna i nejasna očekivanja

Ciljevi koji stvaraju organizacijske konflikte. Korištenje generaliziranih koncepata ili ciljeva bez specifičnih, mjerljivih aktivnosti za poboljšanje.

6. Strast

Izvrsnost je najteži poslovni i osobni cilj za definirati i ostvariti. Da bi se ostvarila potrebna je beskompromisna strast prema izvrsnosti.

7. Poduzetni zaposlenici

Ciljevi zaposlenika nisu dosljedni i usklađeni sa ciljevima organizacije

8. Zanimarivanje osnova

„Bez fokusirane predanost osnovama smanjenja varijacija, usluga, troškova i sigurnosti ne postoje temelja na kojima se može uspješno razviti strateški plan.“

2.6. Samoodržavanje

Kako bi se kod tehničkih sustava spriječilo da njihov otkaz zbog pojave kvara na nekom uređaju uzrokuje nemogućnost sustava da obavlja svoju zadaću, proizvođači takve uređaje nastoje dizajnirati ne samo da su tolerantni na pojavu greške, nego da je mogu i otkloniti [16]. Uređaj s ugrađenim samoodržavanjem je uređaj koji može funkcionirati i u slučaju pojave greške. Pod tim pojmom se ne misli na popravak ili zamjenu neispravnih fizičkih dijelova, nego na popravak funkcionalnosti sustava. To znači da se u slučaju greške, tj. primijećene razlike u funkciji uređaja, uređaj mora samoodržavanjem vratiti u ispravno funkcionalno stanje. Ovakvo održavanje se zove funkcijsko održavanje te je mnogo kompleksnije od fizičkog održavanja. Njegovom primjenom ne samo da se povećava raspoloživost sustava, poboljšava tolerantnost na greške, nego i smanjuju troškovi održavanja.

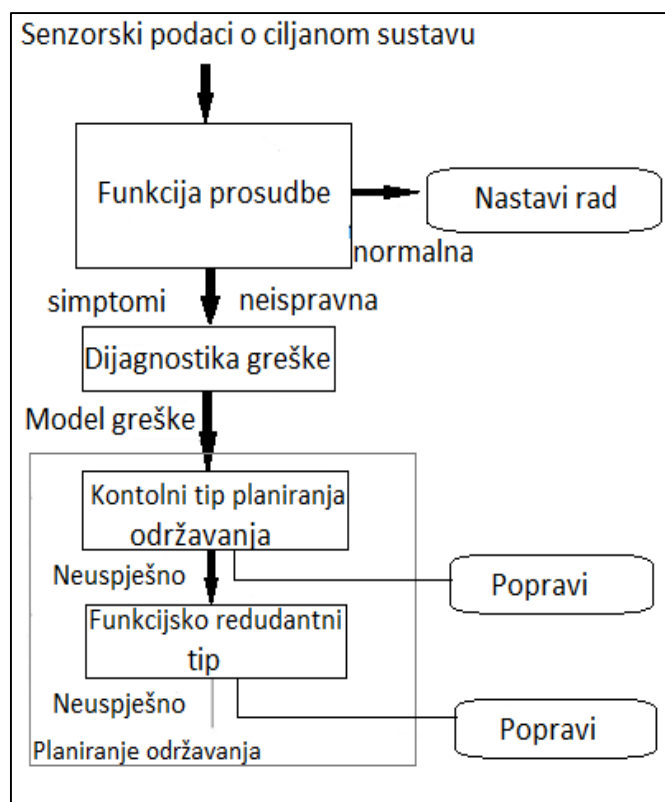
Pretpostavka za implementiranje samoodržavanja na nekom sustavu je da je na njemu ugrađen sustav nadzora i samodijagnostike. Stoga sustav s implementiranim samoodržavanjem mora imati ugrađenu sposobnost izvršavanja.

- nadzora
- prosudbe (procjene) greške
- dijagnosticiranja
- planiranja održavanja

Metode koje se koriste kod realizacije samoodržanih sustava su [16]:

- prosudba o grešci
- dijagnostika greške
- planiranje održavanja

Algoritam zaključivanja kod sustava s implementiranim samoodržavanjem prikazan je na *Slici 13*.



Slika 13. Algoritam zaključivanja [16]

Sustav s implementiranim samoodržavanjem donosi odluke tj. zaključuje na osnovi senzorskih podataka o ciljanom sustavu. Ukoliko se pomoću funkcije prosudbe ustanovi da sustav radi normalno, nastavlja se s radnom. U suprotnom, dijagnosticira se pogreška.

.Kako bi se moglo izvršiti samoodržavanje u bazi podataka sustava potrebno je pohraniti različite informacije. U to su uključene informacije o zahtijevanim funkcijama sustava, strukturi sustava, fizičkim karakteristikama, metodama popravka, te greškama koje se mogu pojaviti kod sustava. Ove informacije koje predstavljaju znanje o sustavu mogu se podijeliti u dvije kategorije. Jedna predstavlja znanje o ciljanom modelu, a druga znanje o fizičkim principima koja definiraju ponašanje sustava.

Znanje o ciljanom modelu obuhvaća [16]:

1. Funkcijski model koji predstavlja funkcijsku hijerarhiju ciljanog sustava - Svaka funkcija u funkcijskoj hijerarhiji određena je prosudbenim parametrima o tome da li je funkcija izvršena ili ne.
2. Model entiteta koji predstavlja topologijsku strukturu komponenti ciljanog sustava

3. Parametarski model koji sadrži informacije o fizičkim karakteristikama ciljanog sustava - Parametarski model, odnosno mreža parametara sustava generira se na temelju znanja o komponentama i relacijama između njima primijenjenog na modelu entiteta.
4. Metode održavanja koje opisuju metode popravka koje se mogu izvršiti na sustavu

Znanje o fizičkim principima obuhvaća:

1. Znanje o komponentama i relacijama između njih - Ovo znanje opisuje karakteristike komponenti i relacije između njih u formi kvalitativnih rješenja diferencijalnih jednadžbi. Na temelju njih može se konstruirati ciljani model sustava.
2. Znanje o fizičkim pojavama - Razlikuju se pojave pridružene greškama zbog strukturalnih promjena ciljanog sustava i one koje se odnose samo na promjenu parametara diferencijalnih jednadžbi koje opisuju ponašanje sustava.

2.7. Održavanje prema pouzdanosti

RCM (eng. *Reliability Centered Maintenance*) koncept upravljanja održavanjem ili kako se još može nazvati upravljanje održavanjem prema pouzdanosti podrazumijeva strukturirani okvir za analizu funkcionalnosti i eventualnih nedostataka i oštećenja fizičke imovine s naglaskom na očuvanje funkcija sustava, a ne same opreme [1]. U tom smislu razvoj ovakvog koncepta upravljanja održavanjem donio je drugačiju perspektivu od ukorištenog poimanja preventivnog održavanja radi očuvanja funkcionalnosti opreme. RCM se koristi u jasnom definiranju planova održavanja koji će omogućiti odgovarajuću razinu operabilnosti uz prihvatljivu razinu rizika, na učinkovit i rentabilan način. Primjena ovakvog modela olakšati će determinaciju šta treba biti učinjeno kako bi se osigurala nesmetana upotrebljivost i korisnost fizičke imovine.

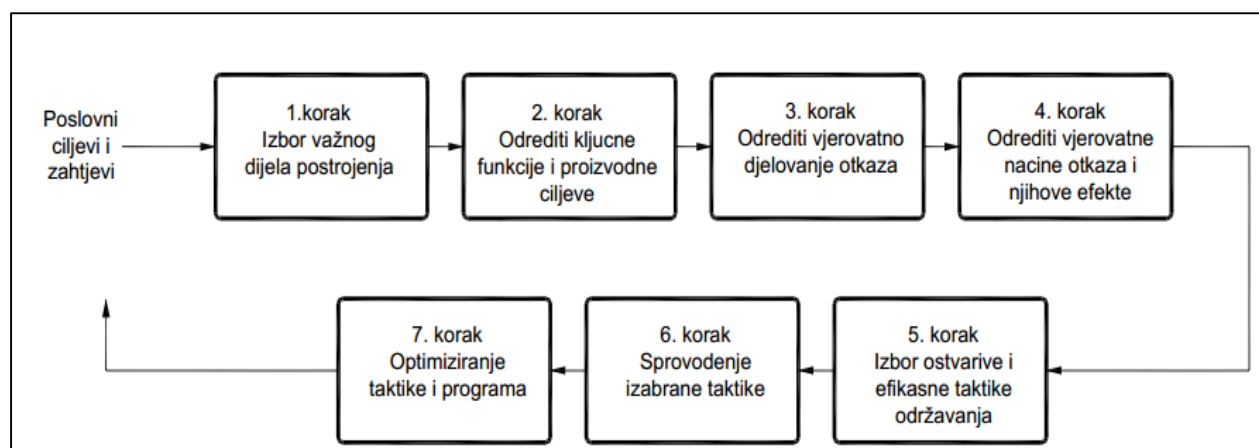
RCM proces treba dati odgovore na sljedeća pitanja [1]:

- Koje su funkcije i poželjni standardi performansi imovine u sadašnjem kontekstu poslovanja?
- Na koji način može doći do neispunjenja funkcionalnosti imovine?
- Što uzrokuje tu nefunkcionalnost?
- Što se događa uslijed svake pogreške ili nefunkcionalnosti (efekti kvara)?

- Koje su posljedice toga?
- Što treba učiniti kako bi se mogle predvidjeti ili spriječiti takve pogreške i nefunkcionalnosti (proaktivne zadaće)?
- Što treba učiniti ako se prikladno proaktivno rješavanje ne može pronaći?

Za razliku od drugih pristupa održavanju RCM je djelotvoran i u planiranju i samoj organizaciji održavanja, zatim u revidiranju operativnih procedura te davanju preporuka u vezi sa promjenom dizajna imovine kako bi se postigle željene performanse. Također, nastoji promijeniti stav o suštini održavanja i dati širi kontekst njegove svrhe od shvaćanja da je svaki kvar izuzetno loša stvar i da se kao takav mora predvidjeti. On podrazumijeva efektivnu strategiju koja se fokusira na performanse kompanije, ali ne zanemarujući ni pogreške. RCM koncept nas potiče na obuhvatnije poimanje održavanja, orijentirajući se na eng. *longterm* perspektivu.

Postoje različiti oblici primjene ovog modela upravljanja održavanjem, ali većina njih sadrži sljedeće korake (Slika 14):



Slika 14. Koraci kod RCM strategije [1]

• Priprema za analizu

Prije samog početka procesa analize, potrebno je izvršiti određene aktivnosti kao što je organizacija odgovarajućih funkcionalnih timova, pazeći da svi članovi tima razumiju i

prihvaćaju temeljna pravila i uvjete analize, prikupljanje i pregled potrebne dokumentacije itd. [1].

- **Odabrati opremu koja će biti predmet analize.**

S obzirom da RCM analiza zahtjeva dosta uloženog vremena i angažiranje značajnih resursa, organizacije se često odlučuju za parcijalnu analizu odnosno analizu pojedinih elemenata opreme. Stoga je potrebno odabrati opremu koja će se analizirati. U tu svrhu najčešće se koriste dvije metode: metoda odabranih pitanja i metoda faktora kritičnosti.

Metoda odabranih pitanja podrazumijeva set posebno dizajniranih Da/Ne pitanja koji će indicirati za koje dijelove opreme je neophodna RCM analiza.

Dok metoda faktora kritičnosti čini niz faktora koji služe procjeni kritičnosti opreme u pogledu njene sigurnosti, održavanja, operabilnosti, utjecaja na okoliš, kvaliteta itd. Za svaki od tih faktora postoji utvrđena skala vrijednosti npr. 1-5 ili 1-10 gdje viša ocjena znači veću kritičnost opreme. Također, mogu biti primijenjene i druge metode kao što je Pareto analiza opreme na temelju zastoja, nepouzdanosti ili drugih relevantnih pokazatelja. Međutim, bez obzira na metodu odabira opreme koja će biti predmet RCM analize, cilj je da se RCM analiza resursa usredotoči na opremu koja će osigurati maksimalnu korist za organizaciju u pogledu sigurnosnih, pravnih, operativnih, i ekonomskih prioriteta.

- **Prepoznati funkcije i njihove potencijalne nedostatke.**

Najbolji način izvedbe ovog koraka u primjeni RCM koncepta je odrediti specifične performanse koje treba ostvariti korištenjem odgovarajućih funkcija što će omogućiti prepoznavanje eventualnih funkcionalnih nedostataka.

- **Detekcija i evaluacija efekata disfunkcionalnosti opreme**

Pomaže timovima da odrede prioritetne i odgovarajuće strategije održavanja adresirajući ih na točno određenu opremu. Za prepoznavanje i evaluaciju efekata disfunkcionalnosti opreme timovi koriste različite logičke dijagrame koji razlikuju evidentne i tzv. skrivene disfunkcionalnosti te jesu li one povezane s problemom sigurnosti, ekonomičnosti, operabilnosti i slično.

- **Prepoznavanje uzroka disfunkcionalnosti.**

Uzrok kvara, neuspjeha odnosno disfunkcionalnosti se određuje na djelotvornoj razini tj. onoj razini na kojoj se može primjenjivati odgovarajuća strategija održavanja. Preporuka je da načini

oštećenja trebaju biti opisani dovoljno detaljno kako bi bilo moguće odabrati odgovarajuće politike upravljanja disfunkcionalnostima i neuspjesima, ali ne toliko detaljno da ima za posljedicu gubljenje vremena koje se može racionalnije iskoristiti u procesu RCM analize.

- **Djelotvoran plan održavanja**

Svakako bi trebao biti završna faza RCM pristupa, a koji će sadržavati sve prethodno definirane korake i zadatke, te specificirati vremenske intervale u kojima će izvođenje svih aktivnosti održavanja biti najefikasnije i najučinkovitije.

RCM strategija se općenito koristi za postizanje poboljšanja u područjima kao što su osiguranje sigurne i minimalne razine održavanja, promjene u operativnim procedurama i strategijama, te uspostavu kapitalnog održavanja. Uspješna implementacija RCM-a će dovesti do povećanja učinkovitosti, ali i većeg razumijevanja razine rizika kojim organizacija trenutno upravlja. Iako se korisnost RCM alata se smatra upitnom u slučaju preventivnog održavanja tipične opreme poput motora, spojnice, cilindara itd., njihova uloga je nezamjenjiva pri projektiranju, odabiru te instaliranju novih sistema, zatim pri implementaciji preventivnog održavanja kompleksnih sistema te pri edukaciji zaposlenih o osnovama pouzdanosti održavanja i njegove uloge.

Iako RCM ima puno prednosti postoje i neki problemi, tj. slabe točke [17].

Izvorni RCM ne nudi djelatan plan održavanja, a standardizirani obrasci i dijagrami su korisni, ali daleko od savršenih. Često dostupni statistički podaci su nedostatni ili netočni, a i ignorira se fizika okolina sustava (npr. korozivna i prašnjava okolina). Mnoge tvrtke zapošljavaju savjetnike za provedbu RCM-a. Međutim, to je skupo i često savjetnici nisu u mogućnosti ponuditi dobra rješenja zbog manjka iskustva u konkretnom poduzeću.

RCM je dugotrajan proces koji često uzrokuje nevoljkost sudionika da se njime kontinuirano bave.

2.8. Lean održavanje

Lean održavanje obuhvaća eliminiranje gubitaka koji se javljaju u održavanju, a povezani su sa radom, materijalom te procedurama i tehnikama. U implementaciju lean održavanja moraju biti uključeni svi. Efekti koji se postižu primjenom lean održavanja su brza i učinkovita poboljšanja, smanjenje troškova i povećanje produktivnosti [18].

Ciljevi uvođenja lean sustava u službu održavanja [19]:

1. ***Smanjenje vremena izvođenja procesa održavanja*** - Ovaj cilj podrazumijeva smanjenje vremena tako što se izbacuju nepotrebne radnje i procesi koji ne pridonose kvaliteti, a usporavaju proces održavanja.
2. ***Jednostavnije izvedba procesa održavanja i jednostavniji načini otklanjanja kvarova*** - Ovaj cilj podrazumijeva razvijanje jednostavnijih načina i metoda izvedbe određenih zadataka, popravaka i kretanja. Te jednostavnije metode i načine izvedbe određenih zadataka, popravaka i kretanja razvijaju poslovođe u suradnji sa tehničarima, mehaničarima i ostalim zaposlenicima. Za ostvarenje takvih metoda poželjan je timski rad i dobra komunikacija između svih zaposlenika u tvrtki.
3. ***Standardizacija radova u procesu održavanja*** - Ovaj cilj podrazumijeva standardizaciju radova u procesu održavanja odnosno donošenje i primjenjivanje standarda, tehničkih normativa i normi kvalitete u procesu održavanja. Standardizacija omogućava pojednostavljenje rada, povećanje brzine te povećanje kvalitete procesa održavanja.
4. ***Izbjegavanje zastoja i smanjenje broja zastoja*** - Ovaj cilj podrazumijeva smanjenje broja zastoja i njihovog ukupnog trajanja. To se postiže efikasnim prijavljivanjem kvarova, izdavanjem radnih naloga za popravak, analizom kvarova i efikasnim planiranjem preventivnog održavanja.
5. ***Smanjenje troškova i zaliha u skladištu*** - Ovaj cilj podrazumijeva uvođenje lean sustava u skladište kako bi se osigurala optimalna količina materijala i rezervnih dijelova. Ako se ne predvidi kolika je potreba za određenim rezervnim dijelovima ili ako se radi o serijskoj nabavi rezervnih dijelova, ne mogu se gomilati zalihe i zalihe rezervnih dijelova. Velike zalihe rezervnih dijelova su veliki troškovi za bilo koju tvrtku.
6. ***Veća sigurnost na radu*** - Ovaj cilj podrazumijeva kontinuirano unapređenje zaštite zdravlja radnika i sigurnosti na radu. Posebna pozornost posvećuje se pravovremenoj edukaciji i osposobljavanju radnika za rad na siguran način kako bi se rizici od ozljeda sveli na najmanju moguću razinu.
7. ***Veća motivacija radnika*** - Ovaj cilj podrazumijeva jasniju podjelu radnih zadataka radnicima kako bi ozbiljnije pristupili svojim odgovornostima i postigli veći radni

učinak. Također se poboljšava radna atmosfera u službi održavanja, a sami radnici su zadovoljniji sa svojim poslom. Izgradnja međusobnog povjerenja među radnicima dodatno pridonosi boljoj koordinaciji posla i povećava se kvaliteta izvedenih radnih zadataka.

8. **Potpuna kontrola troškova održavanja** - Ovaj cilj podrazumijeva kontrolu troškova održavanja kojih čine troškovi materijala, opreme, alata, radnika i vanjskih usluga. Radnici se promatraju kao resursi čiji se trošak izračunava na osnovu vrste rada.
9. **Stroga kontrola pristupa** - Ovaj cilj podrazumijeva kontrolu pristupa svim dijelovima tvrtke. Svaki radnik u tvrtki ima isključivo pristup onim dijelovima tvrtke koji su mu potrebni u obavljanju njegove vrste posla, te treba obavljati isključivo posao za koji je kvalificiran i koji mu je zadan.
10. **Smanjenje vremena održavanja** - Svi ranije prikazani ciljevi nadovezuju se jedan na drugi, od smanjenja vremena i troškova na svim razinama održavanja, nabave rezervnih dijelova za skladište i nabave alata i opreme, održavanja alata i opreme pa do samog procesa održavanja i izvođenja održavanja na dijelovima. Svi ciljevi imaju za cilj prilagodbu i olakšano obavljanje radova zaposlenika na svim područjima.

2.8.1. Problemi pri implementaciji Lean održavanja

Uvođenje *lean* principa u održavanje može biti teško i skupo za provesti. Da bi implementacija bila uspješna mora imati podršku cijelog sustava, a pogotovo vođa tj. stručnjaka. Provedba *lean* metoda može predstavljati radikalan odmak od prethodnih metoda, a radnici se mogu opirati promjenama.

Bez odgovarajuće podrške *lean* održavanje neće biti prihvaćeno te će biti osuđeno na propast [19].

Također, provedba *lean* održavanja zahtijeva dodatnu obuku radnika i svih sudionika. Zaposlenici će možda morati raditi prekovremeno kako bi naučili proces, što dovodi do novih troškova.

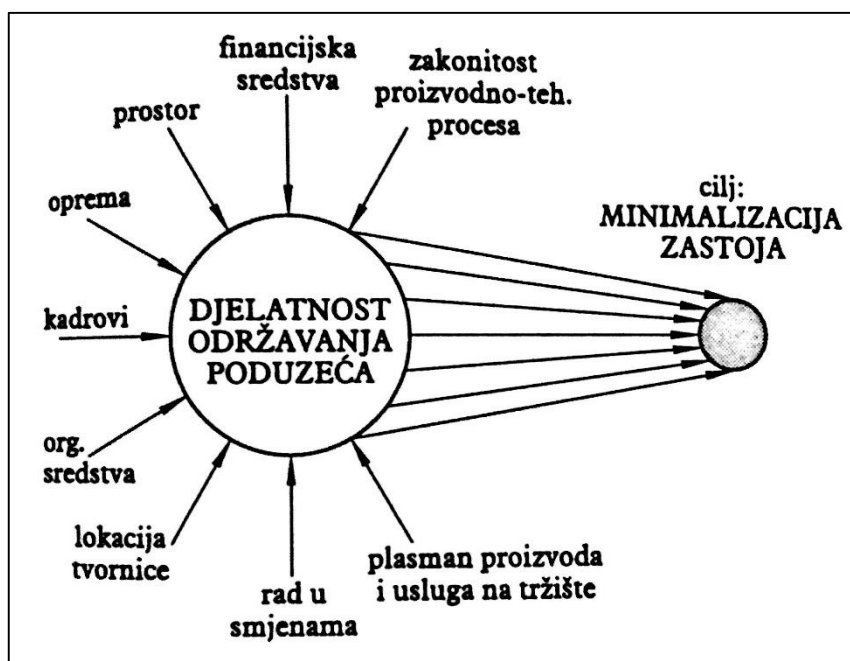
Također, može doći do usporenja proizvodnje tijekom perioda učenja tj. treninga, što može dovesti do poslovnih gubitaka i nezadovoljnih klijenata.

Da bi implementacija bila uspješna potrebni su jaki vođe jer će se zaposlenici vjerojatno opirati promjenama, pogotovo oni koji su bili zadovoljni dosadašnjim načinom rada. Imenovani vođe projekta moraju biti spremni na napore i posjedovati poštovanje i ranika i menadžmenta.

3. PROBLEMI KOD IZBORA STRATEGIJE ODRŽAVANJA

Nakon pregleda različitih pristupa postavlja se pitanje što izabrati za određeno poduzeće kao najprimjereniji oblik održavanja. Pri donošenju odluke treba znati odrediti osnovni cilj održavanja. Postoje različiti problemi koji otežavaju izbor strategije održavanja. Što izabrati, kako će izgledati strategija održavanja pojedinog poduzeća, teško je definirati. Pri donošenju odluke treba znati precizno odrediti osnovni cilj održavanja. Osim cilja održavanja, javlja se problem u određivanju najvažnijih utjecajnih elemenata za definiranje strategije. Potrebno je definirati ključne pokazatelje učinkovitosti, čija procjena često stvara probleme jer se može provesti na različite načine.

Na *Slici 15* dan je prikaz svih utjecajnih elemenata na definiranje izbora, tj. odgovarajuće strategije održavanja.



Slika 15. Utjecajni elementi na izbor strategije održavanja [13]

Iz *Slike 15* se može zaključiti da će izbor ovisiti o:

1. Financijskim sredstvima
2. Zakonosti proizvodno-tehnološkog procesa (kontinuiran, sezonski, diskontinuiran)
3. Plasmanu proizvoda i usluga na tržište (različita dinamika isporuke)

4. Radu u više smjena (nemogućnost organiziranja radova održavanja jer postrojenje radi u tri smjene)
5. Lokaciji tvornice (u većem industrijskom centru ili provinciji)
6. Vrsti i kvaliteti kadrova (industrijski centar ili provincija)
7. Instaliranoj opremi (propisi i preporuke proizvođača)

Broj kriterija kod izbora strategije održavanja je jako velik, što predstavlja problem prilikom rangiranja kriterija po važnosti tj. dodjeljivanja težina pojedinom utjecajnom elementu.

Kolika je težina pojedinog utjecajnog elementa odnosno proračunatih podataka, bit će različito od poduzeća do poduzeća, no važno je da ih treba razmotriti i vrednovati te izabrati onu strategiju održavanja koja će postići cilj.

Osim velikog broja kriterija pri odabiru, postoji i velik broj strategija tj. alternativa, samim time, menadžer koji odabire moguće alternative, može napraviti pogrešku pri odabiru.

Prilikom izbora potrebno je u obzir uzeti i druge parametre, od kojih se posebno ističu: rezultati analize važnosti opreme, zahtjevi za pouzdanost i raspoloživost u radu opreme, struktura uzroka oštećenja i otkaza, posljedice pojave oštećenja i otkaza, raspoloživi kadrovi i zahtjev za osiguranje minimalnih troškova.

Ukupna strategija održavanja zasniva se na "znanju o stanju" tehničkog sistema. Pri tome se koordinacija između kratkoročnog i dugoročnog održavanja pojavljuje kao jedan od kriterija za izbor strategije, uz pojavu složenih financijskih transakcija koje se javljaju kod održavanja pojedinih tehnoloških cjelina. Treba istaknuti, da u ovim sustavima optimalni raspored održavanja povećava samu njihovu pouzdanost, smanjuje pogonske troškove i dovodi do ušteda u kapitalnim ulaganjima u nove pogone.

Uzimajući obzir sve navedene kriterije koje je potrebno razmotriti prilikom odabira strategije održavanja, može se zaključiti da se radi o problemu višekriterijalnog odlučivanja koji je zbog toga detaljno opisan u narednim poglavljima.

4. VIŠEKRITERIJALNO ODLUČIVANJE

Nakon pregleda različitih pristupa postavlja se pitanje što izabrati za određeno poduzeće kao najprimjereniji oblik održavanja. Problem odabira strategije održavanja spada u višekriterijalni problem jer prilikom odabira strategije u obzir treba uzeti puno različitih kriterija. U 4. poglavlju opisana je teorijska osnova višekriterijalnog odlučivanja, dan je prikaz osnovnih metoda koji se koriste pri višekriterijalnom odlučivanju i detaljno su opisane AHP i ANP kao metode koje se najčešće koriste pri izboru strategija održavanja.

4.8. Teorijski uvod u višekriterijalno odlučivanje

Odlučivanje je stalan proces. Mnoge odluke od donositelja traže puno vremena, priprema i znanja, za razliku od najvećeg broja odluka koje su dio našeg svakodnevnog života, a koje donosimo spontano ne zapažajući da zapravo odlučujemo [20]. Kod poslovnog odlučivanja odluke će se reflektirati na veći ili manji broj dijelova poslovnog sustava. U procesu odlučivanja uvijek rješavamo situacije koje su u pravilu konflikte. U današnjim sustavima poslovanja donositelj odluke suočen je s velikim brojem različitih ograničenja, a neka od njih su:

- a) Vizija tunela - predstavlja vrstu mentalnog sljepila i onemogućava uspješno odlučivanje zbog predrasuda donositelja odluke
- b) Prebrzi izbor inačica, koji ponekad dovodi do pogrešne odluke koju donositelj odluke ponovno istražuje pa nije u stanju objektivno procjenjivati
- c) Uključivanje favorita - predstavlja prepreku objektivnom odlučivanju jer donositelj odluke najprije izabere favoriziranu inačicu, a nakon toga sve ostale procjenjuje na bazi kriterija favorizirane inačice koju i izabire kao svoju odluku
- d) Nedostatak kreativnosti - najozbiljnija prepreka pri donošenju odluka

Višekriterijalno odlučivanje predstavlja donošenje odluke kada je prisutno više kriterija, koji su često suprotstavljeni. U poslovnom svijetu, problemi višekriterijalnog odlučivanja mogu biti jako kompleksni. Problem kompleksnosti nije samo u tome što postoji puno različitih kriterija, obzirom da neki kriteriji mogu težiti jednoj alternativni, kako bi se dobilo optimalno rješenje, sve alternative moraju imati zajedničke kriterije koji će dovesti do informirane i bolje odluke.

Višekriterijalno odlučivanje se odnosi na strukturiranje, planiranje i rješavanje problema koji uključuje više kriterija [21].

Glavni cilj metoda višekriterijalnog odlučivanja je poduprijeti donositelje odluka kada postoji veliki izbor alternativa za problem koji je potrebno riješiti. Neophodno je, također, korištenje osobne želje donositelja odluka, pri razlikovanju između rješenja problema u kojem nema optimalnog rješenja. Rješenje problema se može tumačiti na različite načine. Može predstavljati odabir najboljeg od raznih ponuđenih alternativa, gdje se najbolja može tumačiti kao najpoželjnija alternativa donositelja odluka. Također, alternative se mogu odabrati u skupove alternativa ili grupirati u različite skupove preferencija. Ovakva tumačenja se koriste kako bi se našle sve efikasne ili ne dominirajuće alternative [21].

Višekriterijalno odlučivanje se koristi kao tehnika u donošenju odluke, a pronalazi svoju primjenu u: vrednovanju rada zaposlenika, procjeni zdravstvene zaštite u postupanju s otpadom, određivanju bankarske učinkovitosti, Internet bankarstvu, odabiru dobavljača, upravljanju lancem opskrbe, odabiru strategije održavanja, itd.

4.9. Metode višekriterijalnog odlučivanja

Opća podjela metoda višekriterijskog odlučivanja ne postoji, već se one obično dijele prema nekim kriterijima. Tako se u literaturi mogu naći podjele prema načinu uključivanja donositelja odluke u proces odlučivanja, prema klasama problema koji se rješavaju pomoću tih metoda, prema postupku rješavanja itd.

Prema literaturi, postoje brojne metode višekriterijalnog odlučivanja [21, 22, 23, 24]:

- TOPSIS (eng. *Technique for Order of Preference by Similarity to ideal Solution*)
- DEA (eng. *Data Envelopment Analysis*)
- AHP – (eng. *Analytic Hierarchy Process*)
- ANP – (eng. *Analytic Network Process*)
- AIRM – (eng. *Agregated Indices Randomization Method*)
- ELECTRE – (eng. *Elimination Et Choiy Traduisant ala REalite*)
- ER – (eng. *Evidential Reasoning Approach*)
- OCRA – (eng. *Operational Competitiveness Rating Analysis*)
- WPM – (eng. *Weighted Product Model*)

- GRA – (eng. *Grey Relational Analysis*)
- SMART – (eng. *Simple Multi-Attribute Rating Technique*)
- PROMETHEE – (eng. *Preference Ranking Organization METHods for Evaluation*)

4.9.1. ELECTRE metoda

Osnovu algoritma ELECTRE (eng. *ELemination Et Choice Translating Reality*) metode tvore tzv. uvjeti suglasnosti i nesuglasnosti koji se definiraju pomoću željene razine (ne)suglasnosti i stvarnog indeksa (ne)suglasnosti [22]. Indeks suglasnosti predstavlja kvantitativni pokazatelj suglasnosti da se neka alternativa A može rangirati ispred neke druge alternative B s obzirom na sve ciljeve istovremeno, dok indeks nesuglasnosti predstavlja kvantitativni pokazatelj veličine stupnja nesuglasnosti s tvrdnjom da je alternativa A barem jednako dobra kao i alternativa B. Najveća željena razina suglasnosti jednaka je 1, dok je najmanja razina nesuglasnosti jednaka 0.

Rangiranje alternativa provodi se prema pravilu: alternativa A je bolja od alternative B ako je istodobno indeks suglasnosti veći ili jednak željenoj razini suglasnosti, a indeks nesuglasnosti manji ili jednak razini nesuglasnosti. Može se dogoditi da vrijedi samo jedan ili niti jedan od tih uvjeta. U prvom se slučaju alternative odmah proglašavaju neusporedivima, dok u drugom najprije treba ispitati je li alternativa B bolja od alternative A, pa tek onda zaključiti jesu li one usporedive ili nisu.

Nakon što se na opisani način uredi skup alternativa, formira se graf čiji su čvorovi moguća (ponekad odmah i efikasna) rješenja.

Prednosti ove metode su teorijski neograničen broj kriterija pomoću kojih se rangiraju alternative, mogućnost kvantitativnog i kvalitativnog iskazivanja kriterija i njihovih intenziteta važnosti, a nedostatak je nemogućnost primjene na probleme u kojima donositelj odluke nije zadao preferencije, odnosno na probleme u kojima relacija preferencije nije unaprijed određena.

4.9.2. TOPSIS metoda

TOPSIS (eng. *Technique for Order of Preference by Similarity to ideal Solution*) metodu razvili su Hwang i Yoon 1981. godine. U prijevodu bi TOPSIS značilo: tehnike redoslijeda preferencija po sličnosti idealnom rješenju [21].

Temelji se na konceptu koji izabire alternativu koja bi trebala imati najmanju geometrijsku udaljenost od pozitivnog idealnog rješenja i najveću geometrijsku udaljenost od negativnog idealnog rješenja.

To je kompenzacijska metoda koja uspoređuje alternative određivanjem relativnih važnosti (težina) kriterija, normalizacijom rezultata za svaki kriterij te izračunom geometrijske udaljenosti između idealne alternative i svake pojedine alternative. Pretpostavka TOPSIS metode je da se kriteriji jednoliko povećavaju ili smanjuju, što dovodi do jednostavnog definiranja pozitivnog i negativnog idealnog rješenja. Za određivanje relativne udaljenosti alternativa od idealnog rješenja koristi se euklidska udaljenost. Niz usporedbi ovih relativnih udaljenosti će osigurati željeni redoslijed alternativa. S obzirom na to da su parametri kriterija često neprikladnih dimenzija, potrebna je normalizacija.

TOPSIS metoda dozvoljava kompenzaciju između kriterija. Ova metoda se koristi za rangiranje i dobivanje najboljih performansi u višekriterijalnom odlučivanju.

4.9.3. PROMETHEE metoda

Metoda PROMETHEE (eng. *Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations*) spada u grupu metoda višekriterijalnog odlučivanja u skupu alternativa opisanih s više atributa koji se koriste kao kriteriji [23].

Metodu je razvio Jean-Pierre Brans i predstavio po prvi put 1982. godine. Iste godine metoda se počela primjenjivati na probleme vezane za zdravstvo, a kasnijim razvojem PROMETHEE metoda dobiva svoju primjenu u različitim područjima kao što su bankarstvo, kemijska industrija, medicina, turizam itd. Svoj uspjeh metoda može zahvaliti prvenstveno svojim matematičkim svojstvima i lakoći primjene.

Promatra se višekriterijski problem:

$$\text{Max } (f(a), \dots, f_k(a)) \mid a \in A \quad (4.1)$$

Gdje je A konačni skup aktivnosti, a $f_i, i = 1, \dots, K$ su kriteriji koje treba maksimizirati ili zadovoljiti po principu „veće je bolje“.

Primjenu PROMETHEE metode karakteriziraju dva koraka:

- I. Konstrukcija relacije preferencije za svaki kriterij f_i , u skupu alternativa A (modeliranje sklonosti)
- II. Korištenje te relacije da bi se odgovorilo na višekriterijski problem.

U prvom koraku, formira se složena relacija preferencije zasnovana na poopćenju pojma kriterija. Definira se indeks preferencija i dobiva se složena relacija preferencije koja se prikazuje pomoću grafa preferencije. Suština ovog koraka je da donositelj odluke mora izraziti svoje preferencije između dvije alternative (akcije, aktivnosti), po svakom od kriterija, na temelju razlike kriterijalnih vrijednosti alternativa koje uspoređuje. Na taj način konstruirana relacija preferencije upotrebljava se tako da se za svaku alternativu izračunaju ulazni i izlazni tok u grafu.

4.9.4. Analitički hijerarhijski proces

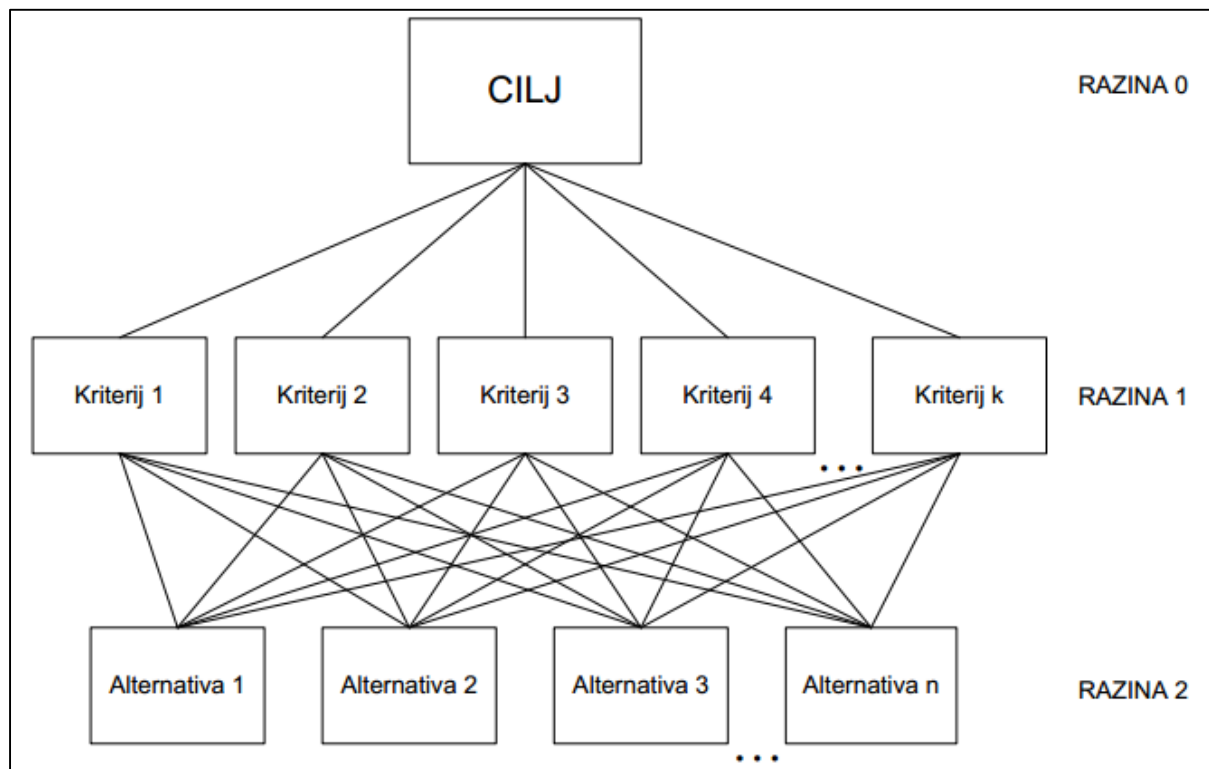
U ovom poglavlju opisani su metodološki i matematički temelji AHP metode te prednosti i nedostaci metode.

4.9.4.1. Opis metode

AHP metodu je razvio Thomas Saaty početkom sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, a ona predstavlja vrlo važnu metodu za odlučivanje koja ima svoju primjenu u rješavanju kompleksnih problema čije elemente čine ciljevi, kriteriji, podkriteriji i alternative [24].

AHP metoda jedna je od najpoznatijih, a posljednjih godina i najviše korištenih metoda višekriterijalnog odlučivanja [20]. U osnovi, radi se o hijerarhijskoj strukturi na čijem vrhu je

cilj, na prvoj razini ispod su kriteriji, na sljedećoj razini podkriteriji, itd. Na najnižoj razini hijerarhijske strukture uvijek se nalaze alternative (*Slika 16*).



Slika 16. Hijerarhijski model AHP strukture [20]

AHP metoda koristi tipični tablični zapis za uspoređivanje i rangiranje alternativa, pri odlučivanju u smislu prednosti jedna od alternativa u odnosu na ostale. Metoda uspoređuje prednosti i nedostatke pojedinih alternativa te kao rezultat daje prioritete alternativa u obliku brojčanih vrijednosti. Kriteriji za izbor određene alternative mogu imati različite važnosti zbog čega im se dodjeljuju težine. Algoritam metode se temelji na tzv. uspoređivanju alternativa u parovima.

Umjesto usporedbe s nekom standardnom mjernom jedinicom AHP metoda koristi tzv. Saaty-evu skalu (*Tablica 3*).

Tablica 3. Saaty-eva skala [20]

Intenzitet važnosti	Definicija	Objašnjenje
1	Jednako važno	Dvije aktivnosti jednako doprinose cilju
3	Umjereno važnije	Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu
5	Strogo važnije	Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu
7	Vrlo stroga, dokazana važnost	Jedna aktivnost izrazito se favorizira u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi
9	Ekstremna važnost	Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću
2,4,6,8	Međuvrijednosti	
1.1 – 1.9	Decimalne vrijednosti	Pri usporedbi aktivnosti koje su po važnosti blizu jedna drugoj, potrebna su decimalne vrijednosti kako bi se preciznije izrazila razlika u njihovoj važnosti.

Skala se sastoji od devet numeričkih ocjena koje predstavljaju iskustveni dokazano da je to razumna i održiva razina ocjena do koje pojedinac može razlikovati intenzitet odnosa između dvaju elemenata [21]. Neparnim brojevima pridružene su osnovne vrijednosti, dok parni brojevi opisuju njihove međuvrijednosti. Težine pojedinih kriterija određuju se uspoređivanjem kriterija u parovima, te određivanjem koliko je prvi kriterij važniji od drugog kriterija.

Vrijednost metode je u tome što se kroz postupak izvodi zaključak, a informacije se sintetiziraju od donosioca odluke te drugih sudionika koji posjeduju znanja o problemu. Cilj je što točnija identifikacija problema te usuglašavanje stavova o njegovoj strukturi. Razbijanjem problema u nivoe, donositelj odluke može se usredotočiti na manje skupove odluka. Na taj se način kod složenih problema s velikim skupovima kriterija i velikim brojem alternativa relativno lako pronađu odnosi između kriterija i alternativa.

AHP povezuje i drži povezane sve dijelove hijerarhije, pa je relativno lako uočiti na koji način promjena jednog kriterija utječe na ostale kriterije i alternative.

Rješavanje problema AHP metodom sastoji se od sljedeća 4 koraka [21].

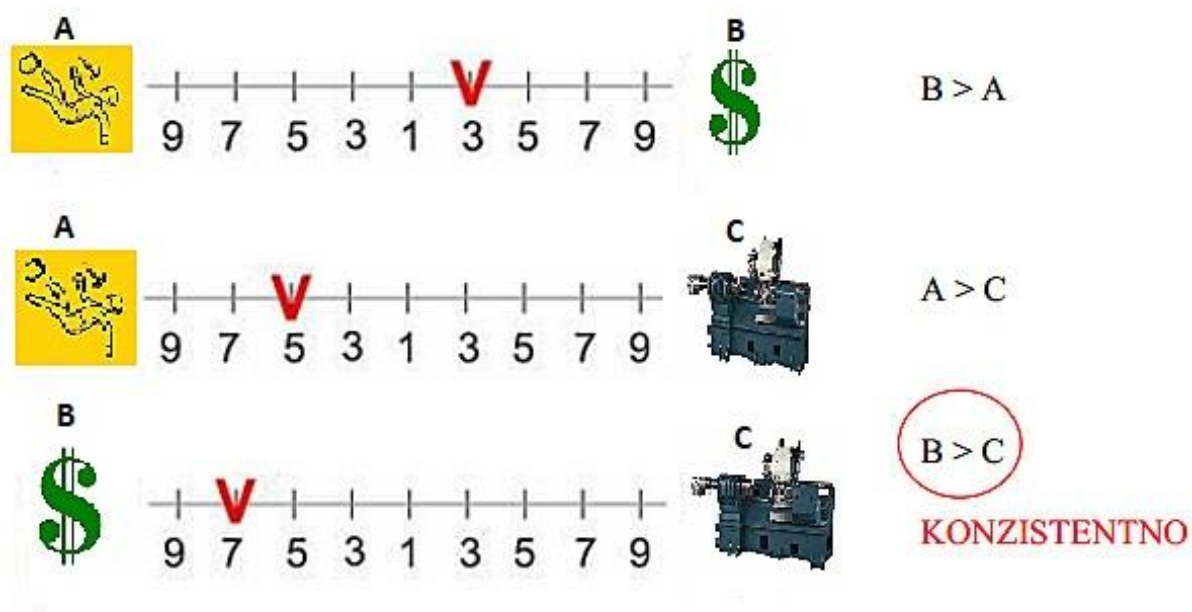
1. Izrada hijerarhije modela problema (cilj, kriteriji, podkriterij)
2. Uspoređivanje parova hijerarhijske strukture pomoću Saaty-eve skale
3. Izračunavanje težinskih koeficijenata prioriteta elemenata hijerarhijske strukture
4. Izračunavanje lokalnih prioriteta (težina) kriterija, podkriterija i alternativa
5. Provođenje analize osjetljivosti

Vrlo važna značajka u primjeni AHP metode je i provjera konzistentnosti procjena donositelja odluke. Tijekom uspoređivanja u parovima elemenata hijerarhije, sve do kraja procedure i sinteze rezultata, provjerava se konzistentnost procjena donositelja odluke i utvrđuje ispravnost dobivenih težinskih koeficijenata kriterija i prioriteta alternativa. Detaljnije o konzistentnosti procjena donositelja odluke u poglavlju 4.9.4.2.

4.9.4.2. Konzistentnost

AHP metoda omogućuje provjeru konzistentnosti procjena donositelja odluke nakon uspoređivanja elemenata hijerarhije. Zbog svojstava matrice A vrijedi $\lambda_{max} \geq n$. Gdje je λ_{max} maksimalna vrijednost matrice A , a n broj redova matrice. Razlika $\lambda_{max} - n$ se koristi u mjerenju konzistentnosti procjena. Što je razlika manja, prosudba je konzistentnija [21].

Problem konzistentnosti se provjerava na sljedeći način (*Slika 17*):



Slika 17. Problem konzistentnosti [25]

Na primjer, prilikom odabira strategije održavanja više se preferira kriterij troškova nego sigurnosti na radu ($B > A$), ali također sigurnost se preferira više od dostupnosti strojeva ($A > C$). Obzirom da se više preferiraju troškovi kao kriterij nego sigurnost, a sigurnost više od dostupnosti strojeva, logički se zaključuje da se kriterij troškova preferira više od kriterija dostupnosti strojeva.

S obzirom da je na Slici 17 vidljivo da je $B > C$, ovaj primjer je konzistentan. Da je kojim slučajem odlučeno da se kriterij dostupnosti strojeva preferira više od troškova, ta odluka bi bila nekonzistentna. Problemi nastaju upravo zbog toga što naše procjene obično nisu konzistentne.

AHP metoda omogućuje provjeru konzistentnosti procjena prilikom uspoređivanja u parovima. Pomoću indeksa konzistentnosti:

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (4.2)$$

gdje je λ_{\max} maksimalna vrijednost matrice odlučivanja, a n broj redova matrice.

Izračunava se omjer konzistentnosti:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4.3)$$

gdje je RI slučajni indeks konzistentnosti (indeks konzistentnosti za matrice reda n slučajno generiranih usporedbi u parovima). Za određivanje RI pomoću n , koristi se tablica s izračunatim vrijednostima (*Tablica 4*).

Tablica 4. Vrijednosti RI slučajnih indeksa [21]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Kada za matricu A vrijedi $CR \leq 0,10$ procjene relativnih važnosti (težina) kriterija (alternativa) smatraju se prihvatljivima. U ostalim slučajevima potrebno je istražiti razloge zbog kojih je došlo do neprihvatljivo visoke nekonzistentnosti procjena.

4.9.4.3. Matematički temelj AHP metode

Neka je n broj kriterija (ili alternativa) čije težine (prioritete) w_i treba odrediti na temelju procjene vrijednosti njihovih omjera koji se označavaju s:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (4.1)$$

Od omjera relativnih važnosti a_{ij} formira se matrica A relativnih važnosti [24].

$$A = \begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{12} & a_{22} & \cdots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n2} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

Matrica A za slučaj konzistentnih procjena za koje vrijedi:

$$a_{ij} = q_{ik} * a_{kj} \quad (4.3)$$

zadovoljava jednadžbu

$$A * n = n * w \quad (4.4)$$

Problem rješavanja težina može se riješiti kao problem rješavanja jednadžbe

$$A * w = \lambda * w, \lambda \neq 0 \quad (4.5)$$

gdje je w vektor (jednostupčana matrica) prioriteta.

$$\begin{bmatrix} w_1/w_1 & w_1/w_2 & \cdots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & w_2/w_2 & \cdots & w_2/w_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \cdots & w_n/w_n \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} = n * \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Matrica A ima sljedeća svojstva, zbog kojih je samo jedna njezina svojstvena vrijednost jednaka n i različita od 0 [24].

1. Pozitivnost – sadrži elemente a_{ij} pozitivne
2. Recipročnost – sadrži elemente koji zadovoljavaju jednadžbu $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$
3. $r(A) = 1$ – rang matrice jednak je 1

Budući da je suma svojstvenih vrijednosti pozitivne matrice jednaka tragu te matrice ili sumi dijagonalnih elemenata, ne nulta svojstvena vrijednost ima vrijednost n .

$$\lambda_{max} = n \quad (4.7)$$

Ukoliko matrica A sadrži nekonzistentne procjene, vektor težina w može se dobiti rješavanjem slijedećeg sustava jednadžbi.

$$(A - \lambda_{max} * I) * w = 0 \quad \sum_i w_i = 1 \quad (4.8)$$

Gdje je λ_{max} najveća svojstvena vrijednost matrice A.

Uzevši u obzir gore navedene jednadžbe slijedi:

$$A * w = n * w \quad (4.9)$$

$$\sum_i a_{ij} * w_i = n * w \quad (4.10)$$

$$w = \frac{1}{n} \sum_i a_{ij} * w_i \quad (4.11)$$

Vrijedi da je:

$$\sum_i a_{ij} = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{w_j} \quad (4.12)$$

$$w_j = \frac{w_1 + w_2 + \dots + w_n}{\sum_i a_{ij}} \quad (4.13)$$

Odakle slijedi da je težina pojedine alternative w_i :

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_j \frac{a_{ij}}{\sum_i a_{ij}} \quad (4.14)$$

Sinteza prioriteta vrši se na način da se lokalni prioriteti alternativa ponderiraju s težinama svih čvorova kojima pripadaju od najniže razine hijerarhijske strukture prema vrhu, a zatim se ti globalni prioriteti za najvišu razinu zbroje te se konstruira ukupni prioritet za pojedinu alternativu.

4.9.4.4. Prednosti i nedostaci AHP metode

U usporedbi s drugim metodama, AHP metoda je često pokazivala bolje uporabne karakteristike, što je od velike važnosti, ukoliko se ima u vidu još uvijek prisutni animozitet donositelja odluka prema sofisticiranim metodama odlučivanja.

Nadalje, AHP metoda ima i određene nedostatke koji nisu direktno vezani za metodološki niti matematički temelj metode, ali se navode kao njena ograničenja.

Od značajnijih prednosti AHP metode izdvajaju se sljedeće [24]:

- AHP strukturira problem odlučivanja i uspješno simulira proces donošenja odluka od definiranja cilja, kriterija i alternativa, do uspoređivanja kriterija i alternativa u parovima i dobivanja rezultata, odnosno utvrđivanja prioriteta svih alternativa u odnosu na postavljeni cilj. Ona dekomponira realni proces odlučivanja tako što razlaže problem

u hijerarhiju elemenata tog procesa te poštujući činjenicu da donositelj odluka na mentalnom planu uglavnom ne razdvaja proces procjenjivanja kriterija od alternativa, omogućava kontrolu konzistentnosti procjena, vodeći računa o cjelini problema i funkcionalnim interakcijama kriterija i alternativa.

- AHP integrira kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju. Praksa do uvođenja AHP-a ignorirala je važnost kvalitativnih faktora u odlučivanju, ne uzimajući u obzir da su svi ljudski problemi kombinacija psiholoških i fizičkih aktivnosti, kvalitativnih i kvantitativnih elemenata. AHP je teorija relativnog mjerenja koja koristi apsolutnu skalu za mjerenje kvalitativnih i kvantitativnih kriterija koji su homogeni i temeljeni na procjenama eksperata.
- AHP uspješno identificira i ukazuje na nekonzistentnost donositelja odluka praćenjem nekonzistentnosti u procjenama tijekom cijelog postupka, izračunavanjem indeksa i omjera konzistencije. U tijeku procjenjivanja, korisnik ima osjećaj da programski alat ispravno prati njegov proces razmišljanja i da mu pravovremeno ukazuje da li je procjenjivanje konzistentno. Ovo je važno kada se uzme u obzir da su donositelji odluka rijetko kada konzistentni u svom procjenjivanju u odnosu na kvalitativne aspekte problema. Kod kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih kriterija, mogućnosti za pojavu nekonzistentnosti su najizraženije.
- Redundantnost uspoređivanja u parovima dovodi do toga da je AHP metoda manje osjetljiva na greške u procjenjivanju.
- Kada se koristi pri grupnom donošenju odluka, AHP metoda značajno poboljšava komunikaciju među članovima grupe. Ukoliko se provodi diskusija, grupa se treba usuglasiti oko svake zajedničke procjene koja će se unijeti u matricu. AHP pomaže u strukturiranju diskusije i postizanju konsenzusa. Ukoliko govorimo o grupnom odlučivanju u kojem svaka osoba ima mogućnost unosa procjena, izbjegava se mogućnost tzv. «skupnog mišljenja», jedinstvenog mišljenja svih članova skupine do kojeg dolazi zbog velikog pritiska na sudionike koji imaju drugačije mišljenje. Svaki sudionik sudjeluje u zajedničkoj diskusiji, ali na njenom završetku individualno unosi svoju procjenu. Time se postiže bolje razumijevanje, a u konačnom ishodu članovi grupe imaju više povjerenja u izabranu alternativu.
- Odlučivanje AHP metodom povećava znanje o problemu i snažno i brzo motivira donositelje odluke. Procesom odlučivanja dolazi se do približnog rješenja problema i to obično većom brzinom nego na većini sastanaka te s manjim troškovima procesa

donošenja odluke. Tako dobiveni rezultati mogu se koristiti i kao ulazni podaci za projekt ili studiju izvodljivosti, odnosno za kompleksniju odluku.

- Rezultati odlučivanja AHP metodom ne sadrže samo rang alternativa veći informacije o težinskim koeficijentima kriterija u odnosu na cilj i podkriterija u odnosu na kriterije.
- AHP omogućuje donositelju odluka analizu osjetljivosti rezultata pomoću koje se provjerava stabilnost dobivenih rezultata na način da se simulira odnos između težina kriterija i prioriteta alternativa.
- Postojanje kvalitetnih programskih alata koji podržavaju AHP metodu. Najčešće korišten alat je Expert Choice koji ima mnoge prednosti kao što jednostavnost modeliranja, sučelje prilagođeno prosječnom korisniku računala, mogućnost korigiranja procjena od strane korisnika i dr. Alat SuperDecisions također podupire primjenu AHP metode, besplatan je i razvijen kako bi podržao korištenje AHP i ANP metode u akademske svrhe.

AHP metoda ima i određena ograničenja s kojima se korisnici mogu susresti prilikom njene primjene, a mnogi znanstvenici se bave načinima za njihovo otklanjanje. Neka od ograničenja AHP-a koja se češće navode u literaturi su [24]:

- Nedovoljno velika skala (Saatyeva skala relativne važnosti) za uspoređivanje elemenata u parovima vezano uz probleme odlučivanja
- Velik broj potrebnih komparacija u parovima kod većine problema
- Postizanje prihvatljivog omjera konzistencije je često vrlo teško
- Nisu dozvoljene neusporedive alternative

Prvi i posljednji navedeni nedostatak se najčešće spominju kao najveći nedostaci AHP metode.

4.9.5. Analitički mrežni proces

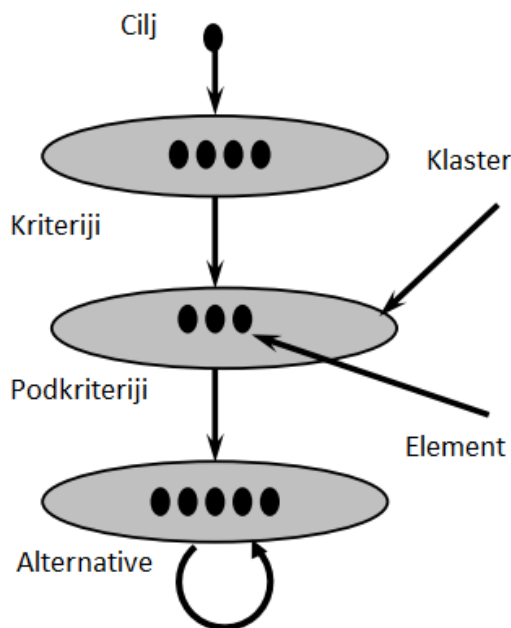
Metoda analitički mrežni proces je novija metoda za odlučivanje te uključuje određenu nadogradnju u odnosu na AHP metodu. ANP metoda omogućuje modeliranje funkcionalne interakcije kriterija i alternativa u modelu te se time postiže veća stabilnost rezultata. Metodološki i matematički temelji ANP metode opisani su u točkama 4.9.5.1.. i 4.9.5.2.

4.9.5.1. Metodološki temelj ANP metode

ANP (eng. *Analytic Network Process*) metodu je razvio Thomas Saaty 1996. godine. Struktura povratnih veza (eng. *feedback*) struktura koja postoji u ANP-u omogućuje mrežno definiranje problema te se razlikuje od AHP-a jer ne predstavlja linearnu hijerarhiju već modelira utjecaje između elemenata mreže [24]. Mrežna zavisnost elemenata doprinosi boljem modeliranju realnih problema jer je većina problema iz realnog svijeta nelinearna, a povratne veze omogućuju preciznije određivanje prioriteta elemenata i donošenje kvalitetnijeg rješenja problema.

U hijerarhiji, važnosti (težine) kriterija služe kako bi se evaluirale (vrednovala) alternative i odredili njihovi prioriteti. Odluka se donosi na temelju postojećeg znanja. Može se reći da je takav pristup tzv. idealistički pristup odlučivanju. U mreži, svaka komponenta može zavisiti o drugoj komponenti. Postavlja se pitanje koja od dvije alternative je dominantnija u odnosu na određeni kriterij, ali i pitanje koji od dva kriterija je dominantniji u odnosu na određenu alternativu. Takav pristup je tzv. pragmatičan pristup u donošenju odluka.

Slike 18 i 19 prikazuju razliku između hijerarhije i mreže. Hijerarhija je linearna *topdown* struktura koja sadrži cilj na vrhu hijerarhije, kriterije na prvoj razini, podkriterije na drugoj razini, alternative na trećoj razini hijerarhije i petlju koja indicira da svaki element ovisi sam o sebi (*Slika 18*).



Slika 18. Linearna hijerarhija [24]

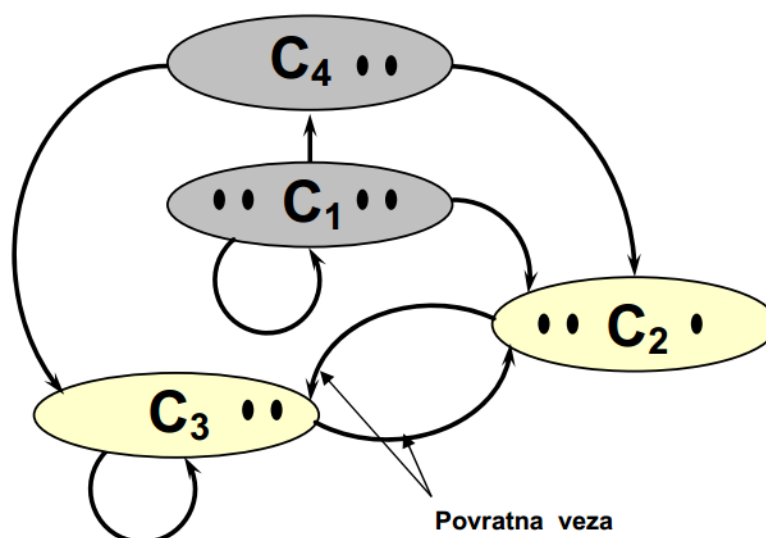
Mreža je struktura povratne veze koja sadrži komponente i elemente unutar komponenata, preciznije, klastere i čvorove unutar klastera te petlje i lukove kojima se komponente mreže povezuju. Osnovni element mreže je klaster, a klasteri se sastoje od čvorova koji se međusobno povezuju ovisno o njihovoj zavisnosti.

Razlikujemo ishodišne (eng. *source*) i odredišne (eng. *sink*) čvorove [24]. Zavisnosti se prikazuju vezom (strelicom) između dva čvora između kojih postoji utjecaj. Strelica koja povezuje dva elementa označava utjecaj jednog elementa na drugi. Ishodišni čvor je onaj iz kojeg strelica izlazi i on utječe na odredišni čvor prema kojem je strelica usmjerena tj. odredišni čvor zavisi od ishodišnog čvora. Ukoliko čvorovi utječu međusobno jedan na drugog, takvu vezu nazivamo *feedback* vezom ili povratnom vezom. Mreža dopušta i modeliranje zavisnosti na način da jedan klaster utječe na drugi, a drugi utječe na prvi, ali ne direktno nego posredno preko trećeg tzv. prijelaznog klastera. Zavisnosti se modeliraju između čvorova, ali se radi jednostavnosti prikazuju zavisnosti između klastera.

Dvije su osnovne vrste zavisnosti između komponenata mreže: unutarnja i vanjska zavisnost.

Ukoliko su čvorovi unutar klastera međusobno povezani (utječu jedan na drugog u odnosu na neko svojstvo) govorimo o unutarnjoj zavisnosti unutar klastera i označavamo je petljom.

Ukoliko su povezani čvorovi koji pripadaju različitim klasterima, govorimo o vanjskoj zavisnosti i označavamo je lukom između klastera. Nelinearna mreža je prikazana na *Slici 19*.



Slika 19. Povratna veza [24]

Ona sadrži klasterne i čvorove te unutarnje i vanjske zavisnosti između elemenata. Mreža se promatra i kao usmjereni graf, koji nije jednostavan jer sadrži petlje. Iz tog konteksta dolazi i navedena terminologija.

Tri su osnovne vrste supermatrice koje se formiraju u ANP-u [24]:

1. **Neponderirana supermatrica** (eng. *Unweighted Supermatrix*) je matrica koja sadrži težine/prioritete dobivene uspoređivanjem elemenata u parovima u skladu sa zavisnostima između elemenata.
2. **Ponderirana supermatrica** (eng. *Weighted Supermatrix*) je matrica dobivena množenjem neponderirane supermatrice s težinama (prioritetima) klastera. Prioriteti klastera se prikazuju u matrici klastera (eng. *Cluster Matrix*), a dobiveni su uspoređivanjem klastera u parovima u skladu sa zavisnostima između klastera. Tim postupkom ponderirana supermatrica postaje stohastična (zbroj svakog stupca matrice jednak je 1). U hijerarhiji (AHP-u) ponderirana supermatrica je jednaka neponderiranoj supermatrici.
3. **Granična supermatrica** (eng. *Limit supermatrix*) je matrica dobivena potenciranjem ponderirane supermatrice. Granična matrica se potencira tako dugo dok ne konvergira u odgovarajuću formu iz koje možemo iščitati prioritete elemenata (svi redovi matrice

moraju biti jednaki). Postoje dvije vrste granične supermatrice: reducibilna i ireducibilna, odnosno granična matrica u kojoj zavisnosti nisu kružne i granična matrica u kojoj su zavisnosti kružne (npr. jedan elemenat može utjecati na drugi element neposredno preko trećeg elementa). Ukoliko se radi o ireducibilnoj matrici tj. graničnoj matrici s kružnim zavisnostima, ona u postupku potenciranja ne konvergira u odgovarajuću formu, već se samo rotira i potrebno je koristiti Cesarovu sumu kako bi se izrazili prioriteti elemenata.

Osnovni koraci u primjeni ANP metode [24]:

1. Opisati detaljno problem odlučivanja

Definirati ciljeve, kriterije i podkriterije, sudionike i njihove ciljeve te moguće rezultate, posljedice određene odluke. Definirati utjecaje o kojima ovise posljedice određenih odluka. U hijerarhiji se elementi nazivaju kriterijima i podkriterijima, dok u mreži imamo klastera i čvorove unutar klastera.

2. Odrediti kontrolne kriterije i podkriterije u četiri kontrolne podmreže

Koristi, mogućnosti, troškovi i rizici, BOCR (eng. *Benefits, Opportunities, Costs, Risks*) i uspoređivanjem u parovima odrediti prioritete kontrolnih kriterija. Ukoliko kontrolni kriterij ili podkriterij ima globalni prioritet od 3% ili manje, može ga se isključiti iz daljnjih razmatranja. Kod uspoređivanja elemenata u parovima u odnosu na koristi i mogućnosti, postavlja se pitanje što će dati veću korist ili predstavlja veću mogućnost u ispunjenju određenog kontrolnog kriterija. Za troškove i rizike, postavlja se pitanje što je rizičnije ili skuplje u odnosu na ispunjenje kontrolnog kriterija. Kontrolni kriteriji se nalaze na drugoj razini u podmreži, a uobičajeni kontrolni kriteriji su: politički, socijalni, ekonomski i dr.

3. Odrediti mrežu klastera i njihovih čvorova u skladu s kontrolnim kriterijima.

Prilikom kreiranja modela, potrebno je numerirati klastera i čvorove radi kasnije lakše obrade rezultata. Vrlo je važno da se koriste potpuno ista imena za klastera i čvorove koji se ponavljaju odnosno koji su identični u više od jedne kontrolne hijerarhije.

4. Odrediti zavisnosti, utjecaje između elemenata u modelu

Zavisnost elemenata (čvorova) unutar klastera naziva se unutarnja zavisnost dok se zavisnost elemenata jednog klastera o elementima drugog klastera naziva vanjska zavisnost.

5. Za svaki kontrolni kriterij, kontrolnu hijerarhiju, kreirati supermatricu

Na temelju usporedbi u parovima za određene elemente (čvorove) koji međusobno zavise u toj kontrolnoj hijerarhiji, potrebno je provesti komparaciju u parovima za sve unutarnje i vanjske zavisnosti elemenata u hijerarhiji. Rezultat je neponderirana matrica koja sadrži prioritete elemenata dobivene uspoređivanjem elemenata u parovima.

6. Provesti usporedbu klastera u parovima u skladu s njihovom zavisnosti, a u odnosu na kontrolne kriterije

Dobiveni prioriteti služe kako bi se njima pomnožili elementi supermatrice dobiveni u 5. koraku. Određeni blokovi elemenata se množe s prioritetom pripadajućeg klastera. Gdje nema utjecaja upisujemo 0. Opisanim postupkom dobivamo stohastičku ili tzv. ponderiranu supermatricu za koju vrijedi da je zbroj elemenata svakog njenog stupca jednak 1.

7. Izračunati elemente granične supermatrice

Granična supermatrica je matrica dobivena potenciranjem ponderirane supermatrice. Postoje dvije vrste granične supermatrice: granična matrica u kojoj zavisnosti nisu kružne i granična matrica u kojoj su zavisnost kružne (npr. jedan element može utjecati na drugi element posredno preko trećeg elementa). U graničnoj supermatrici u kojoj zavisnosti nisu kružne, elementi svih kolona su identični i predstavljaju relativne prioritete elemenata. Ukoliko se radi o drugoj vrsti granične matrice, tada se u izračunu koristi Cesarova suma kako bi se u prioritete uključile sve postojeće zavisnosti. Granični prioriteti se zbrajaju i izračunava se njihov prosjek te se vrši normalizacija.

8. Izvršiti sintezu prioriteta iz granične supermatrice

Sinteza se vrši na način da se dobiveni prioriteti množe s težinom kontrolnih kriterija i sintetiziraju s prioritetom koristi, mogućnosti, troškova i rizika. Da bi se dobili prioriteti BOCR-a, trebaju se generirati strateški kriteriji. Određuju se njihovi prioriteti uspoređivanjem u parovima. Nakon što se dobiju alternative s najvišim prioritetima u odnosu na BOCR, uzimaju se top alternative za svaku od pod mreža i vrednuju se u odnosu na strateške kriterije. Sintezom dobivenih procjena, dobivamo prioritete za koristi, mogućnosti, troškove i rizike.

9. Određivanje alternative koja se preferira

Da bismo dobili alternativu koja se preferira u odnosu na sve četiri BOCR pod mreže, možemo koristiti multiplikativnu (eng. *multiplicative*) ili aditivnu (eng. *additive*) formulu. Multiplikativna formula množi vektore prioriteta za koristi i mogućnosti i zatim ih dijeli s umnoškom troškova i rizika.

Aditivna formula glasi:

$$bB + oO - cC - rR \quad (4.15)$$

u kojoj su b , o , c i r prioriteti dobiveni vrednovanjem top alternativa u odnosu na strateške kriterije, a B , O , C i R su vektori prioriteta alternativa dobiveni u podmrežama. Precizniji rezultati se dobiju primjenom aditivne formule.

10. Obraditi rezultate i analizirati osjetljivost

5. IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJA PRIMJENOM VIŠEKRITERIJALNOG ODLUČIVANJA

Odabir strategije održavanja temelji se na hijerarhijskom modelu sastavljenom uz pomoć niza kriterija i pod-kriterija koje je osmislio Saaty te također ANP mrežnom modelu (ANP). Teorijske osnove tih modela prethodno su objašnjene. U ovom poglavlju prikazani su koraci pri izboru strategije održavanja primjenom AHP i ANP modela.

5.1. Koraci pri izboru strategije održavanja

Prema literaturi, za izbor strategije održavanja predloženi su sljedeći koraci [26, 27]:

1. *Formiranje tima stručnjaka* - Svrha je ustanoviti i proučiti trenutne probleme i njihov utjecaj na poslovanje tvrtke. U ovom slučaju formira se projektni tim [26]. Njega obično čine menadžeri i inženjeri.
2. *Definirati cilj i svrhu* - Cilj je procijeniti i izabrati najprikladniji pristup/politiku održavanja za stroj koji se proučava.
3. *Treći korak: Identifikacija kriterija i podkriterija za odabir strategije održavanja* - U ovom koraku identificiraju se ključni kriteriji i podkriteriji za odabir strategije održavanja. Postoje različiti kriteriji koji se mogu uzeti u obzir, a o odabiru najvažnijih kriterija odlučuju stručnjaci u tom području. Neki od mogućih kriterija su [28]:
 - Troškovi
 - Raspoloživost
 - Pouzdanost
 - Ukupna učinkovitost opreme
 - Broj nesreća
 - Broj HSE prigovora
 - Dostupnost rezervnih dijelova
 - Potrebne investicije
 - Dodana vrijednost
 - Lokacija održavanja
 - Dostupnost dijelova

- Trening zaposlenika
 - Razina edukacije radnika
 - Srednje vrijeme između kvarova
 - Periodi garancije
 - Vještine zaposlenika
 - Sigurnost zaposlenika
 - Broj dana u pogonu
 - Razina edukacije radnika
 - Podrška tvrtke
 - Prihvaćanje radnika
 - Ugled
 - Kvaliteta
 - Profit
 - Iskustvo (u održavanju)
 - Broj pokrenutih pravnih slučajeva
4. *Ustanoviti alternativne pristupe održavanju* - Neke strategije održavanja možda nisu prihvatljive za svaku organizaciju tj. tvrtku. Odabir alternativa također može bit riješen iskustvom onih koji odlučuju o alternativama, tj. iskustvom inženjera i stručnjaka.
 5. *Konstruirati hijerarhijski okvir za analizu* - Kriteriji i pod-kriteriji sastavljeni su u hijerarhiju koja potječe iz sveukupnog cilja do nižih nivoa te podkriterija u narednim nivoima [26]. Najviša razina hijerarhije predstavlja definirani cilj, dok druga razina hijerarhije sadržava glavne kriterije održavanja. Ovi kriteriji se razlažu u razne podkriterije. Na posljepku, najniža razina hijerarhije predstavlja alternativne pristupe/politike održavanju.
 6. *Skupiti empirijske podatke i informacije* - Nakon postavljanja AHP hijerarhije, sljedeća faza je mjerenje i prikupljanje podataka, što uključuje formiranje tima procjenitelja. Stručnjaci s iskustvom u održavanju i industriji potrebni su zbog procjenjivanja težina odabranih kriterija i podkriterija.
 7. *Napraviti parnu komparaciju za svaku razinu kriterija i podkriterija* - Parna komparacija provodi se između kriterija i podkriterija na temelju skale koju predlaže Saaty. Svrha te skale je ustanoviti koliko puta je jedan element bitniji od drugog elementa poštujući kriterije i svojstva u odnosu na ono što su komparirani. Da bi se upotpunila matrica parne komparacije koristi se poseban upitnik. Kod ove komparacije,

kriteriji i pod-kriteriji koriste se radi komparacije alternativnih strategija održavanja od strane stručnjaka.

8. *Napraviti test konzistentnosti* - Ovaj korak proučava da li su dva stvorena para kriterija konzistentna ili ne. Inače je omjer konzistentnosti korišten da bi se provjerilo da li se kriterij može koristiti u odlučivanju. Preporučuje se da omjer konzistentnosti bude ispod 10%. U suprotnom, ako je omjer konzistentnosti iznad 10%, trebao bi se istražiti potencijalni uzrok.
9. *Izračunati opću težinu svakog kriterija i podkriterija* - Sljedeći korak uključuje kalkulaciju lokalnih i globalnih značaja. Dok se lokalni značaj odnosi na hijerarhijsku razinu, globalna značenja uzimaju u obzir najviši hijerarhijski nivo.
10. *Sinteza rezultata* - Da bi se dobili konačni rezultati, sve druge alternative pomnože se s globalnim značenjem zadanog jedinstvenog kriterija.
11. *Analiza osjetljivosti* - Analiza osjetljivosti se provodi s ciljem da se vidi u kojoj mjeri se promjene ulaznih podataka odražavaju na promjene izlaznih rezultata. Može se pretpostaviti da procjene donositelja odluke mogu varirati u nekim rasponima, a da te promjene još uvijek budu u skladu s preferencijama donositelja odluke. Da bi se došlo do zaključka da li je rang lista alternativa dovoljno stabilna u odnosu na prihvatljive promjene ulaznih podataka preporuča se provjera prioriteta alternativa za različite kombinacije ulaznih podataka.
12. *Konačni poredak predloženih alternativa* - Uzevši u obzir rezultate desetog koraka i rezultata analize osjetljivosti, može se ustanoviti konačno rješenje AHP metode. Prema tome, uzevši u obzir zacrtane ciljeve modela, dobije se najprihvatljivija strategija održavanja.

Postupak odabira strategije održavanja, tj. koraci koji se primjenjuju identični su i kod ANP metode odlučivanja. Razlika je jedino u samom algoritmu te metode koja umjesto linearnog hijerarhijskog modela koristi mrežnu strukturu.

6. IZBOR STRATEGIJE ODRŽAVANJE ZA HORIZONTALNI OBRADNI CENTAR HAAS EC-500

U ovom poglavlju opisan je konkretan izbor strategije održavanja za horizontalni obradni centar Haas EC-500. Opisane su karakteristike stroja, odabir strategije održavanja metodom višekriterijalnog odlučivanja AHP, koristeći softver *ExpertChoice* i odabir strategije održavanja metodom ANP u softveru *SuperDecision*.

6.1. Općenito o HAAS EC-500

Haas EC-500 je horizontalni obradni centar koji je opremljen dvopaletnim sustavom dimenzija 500-500 mm i maksimalne nosivosti stola 400 kg [29].

Neke od važnih prednosti stroja su smanjeno vrijeme proizvodnje korištenjem paletnog sustava, mogućnost obrade s više strana (okretni stroj) i mogućnost obrade simultano 4 osi.

Obradni centar prikazan je na *Slici 20*.

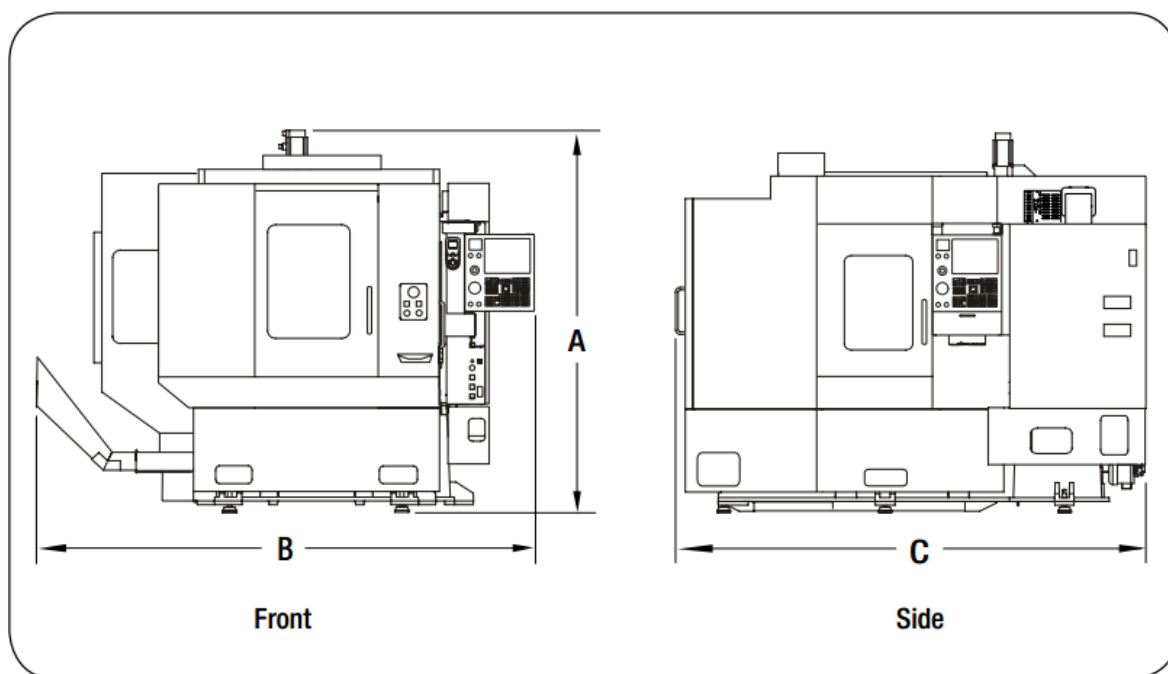


Slika 20. Obradni centar HAAS EC-500 [29]

Osnovni podaci o HAAS EC-500 [29]:

- Broj alata u spremniku: 40 + 1
- X os: 813 mm; Y os: 508 mm; Z os: 718 mm
- Maksimalna snaga: 14,9 kW
- Maksimalni broj okretaja: 8000 okretaja po minuti
- Držač: ISO-SK 40
- Cijena s početnom standardnom konfiguracijom: 160 000 €
- Cijena s potpunom dodatnom opremom: 220 – 230 000 €

Na *Slici 21* prikazane su dimenzije obradnog centra HAAS EC-500.



Slika 21. Dimenzije obradnog centra HAAAS [29]

- Visina A: 2 642 mm
- Širina B: 3 810 mm
- Dužina C: 4 648 mm

Slika 22 prikazuje paletni sustav HAAS obradnog centra.



Slika 22. Paletni sustav HAAS [29]

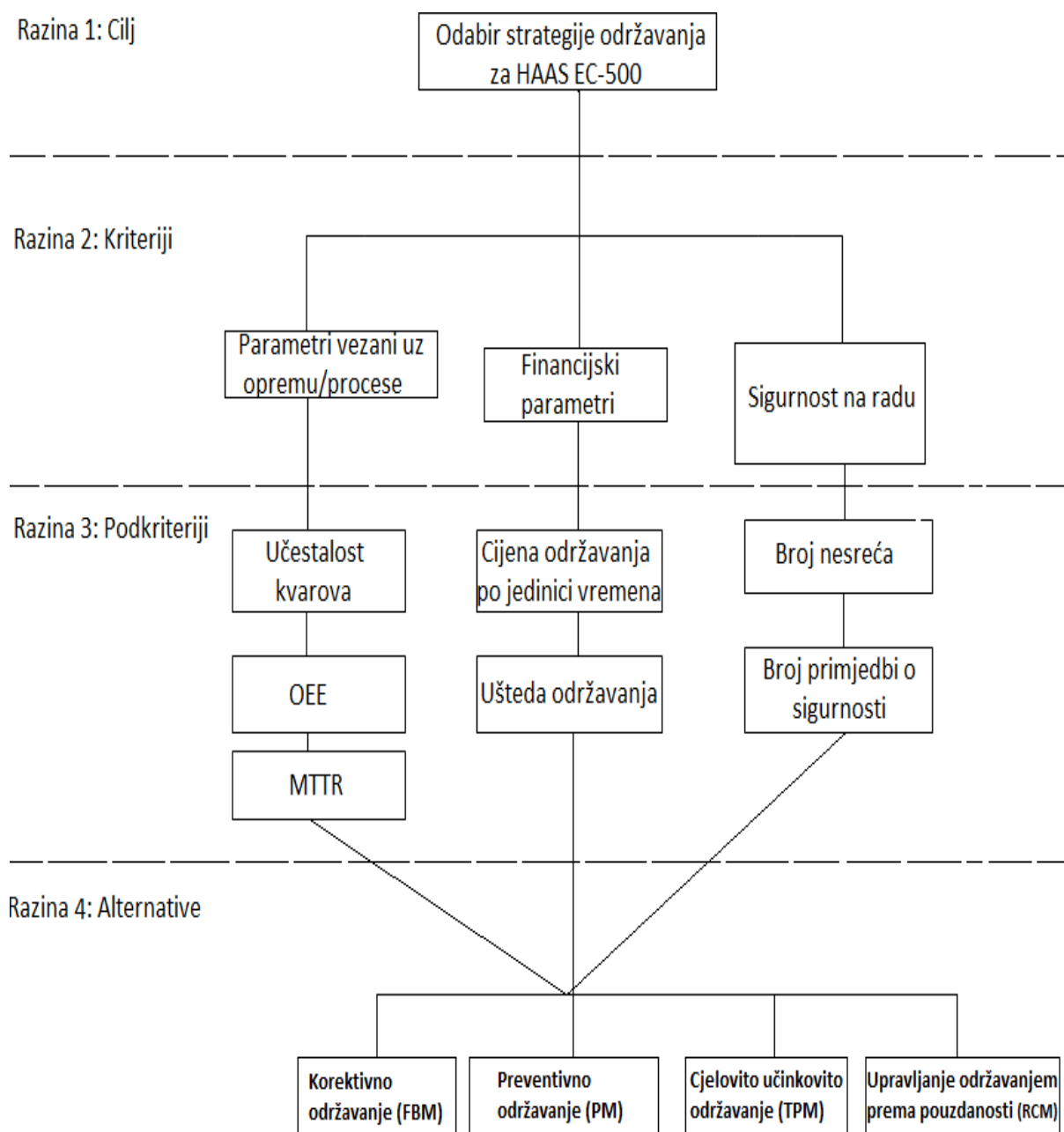
Ugrađeni dvopaletni sustav povećava produktivnost za duplo. Također, omogućeni su utovar i istovar na jednoj paleti, dok se na drugoj odvija obrada.

6.2. Odabir strategije održavanja AHP metodom

Za odabir strategije održavanja za obradni centar HAAS EC-500 AHP metodom korišten je softver *ExpertChoice*.

ExpertChoice predstavlja način odlučivanja koji se usklađuje s ciljem donositelja odluke. Pomaže poslovnim liderima u brzom donošenju odluka s ciljem boljih poslovnih rezultata, a u skladu s dugoročnom strategijom kompanije. *ExpertChoice* je u potpunosti primjenjiv na AHP metodu i podržava sve potrebne korake. Omogućuje strukturiranje problema te uspoređivanje kriterija i alternativa u parovima, na više načina. Pored usporedbe u parovima, omogućuje i direktni unos kvantitativnih podataka. *ExpertChoice* ima mogućnost analize osjetljivosti rezultata, koja se temelji na jednostavnom načinu izmjene relativnih važnosti (težina) kriterija i alternativa.

Na *Slici 23* su prikazane 4 razine hijerarhijskog modela koje su potrebne za odabir strategije održavanja. To su cilj, kriteriji, podkriteriji i moguće alternative.



Slika 23. Hijerarhijski model odabira strategije održavanja

Kao kriterij za odabir strategije održavanja za obradni centar HAAS EC-500 odabrani su parametri vezani za opremu i procese, financijski parametri i sigurnost na radu.

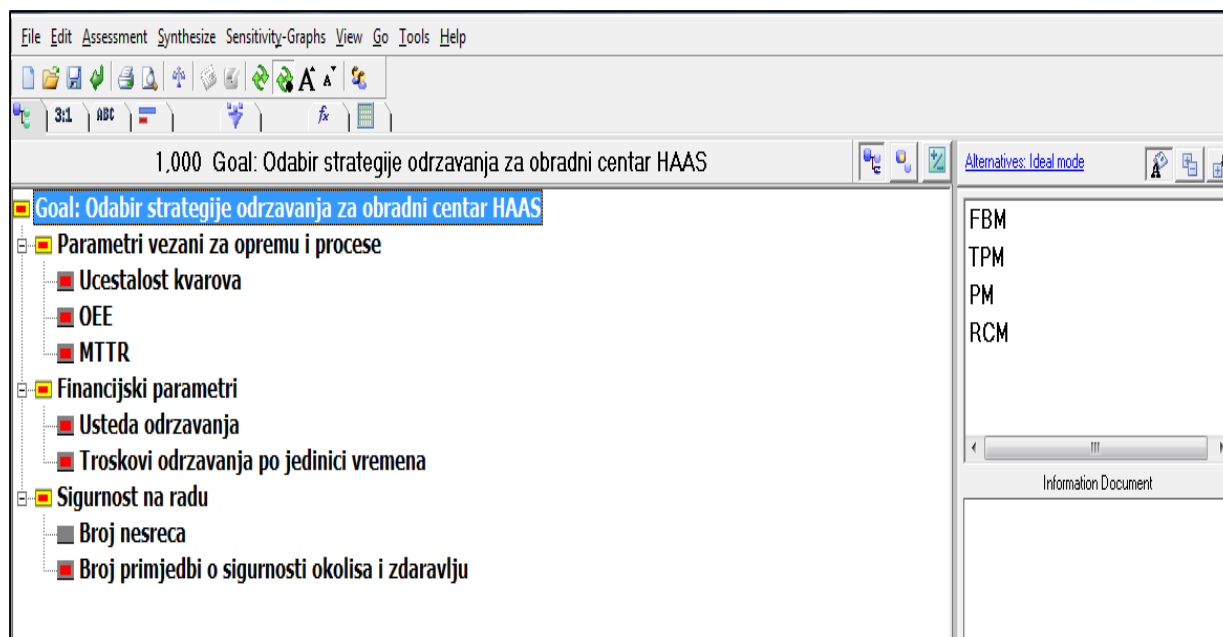
Da bi firme koje je bave proizvodnjom bile konkurentne na današnjem tržištu moraju se držati rasporeda proizvodnje. Strojevi moraju uvijek biti za proizvodnju što stavlja pritisak na održavanje. Zbog toga je održavanje stroja kao što je obradni centar od ključne važnosti.

Parametri vezani za opremu i procese kao što su raspoloživost, produktivnost, brzina izrade i učestalost kvarova pokazatelji su ukupne efektivnosti. Zbog toga je taj kriterij uzet u razmatranje kao važan kriterij pri odabiru strategije održavanja.

Financijski parametri su danas u proizvodnji neizostavan element koji se mora uzeti u obzir pri planiranju bilo koje aktivnosti, a pogotovo u održavanju koje zauzima čak do 60% troškova proizvodnje. Uzimajući u obzir tu činjenicu, kao kriterij za odabir strategije održavanja obradnog centra HAAS EC-500 odabrani su financijski parametri koji uključuju podkriterije: troškovi održavanja, ušteda održavanja.

Kao posljednji kriterij odabrana je sigurnost na radu koja podrazumijeva broj pritužbi na sigurnost okoline i zdravlje te broj nesreća. Ovaj kriterij izabran je kao važan za izbor strategije održavanja obradnog centra HAAS EC-500 jer indirektno može utjecati na financijske parametre i važan je za osjećaj sigurnosti radnika što pridonosi njihovoj angažiranosti. Isto tako, važna je činjenica da se na tom kriteriju inzistira u sve većoj mjeri u svim aspektima proizvodnje.

Struktura opisanog problema prikazana je na *Slici 24* gdje su desno navedene alternative, a lijevo cilj, kriteriji i podkriteriji.

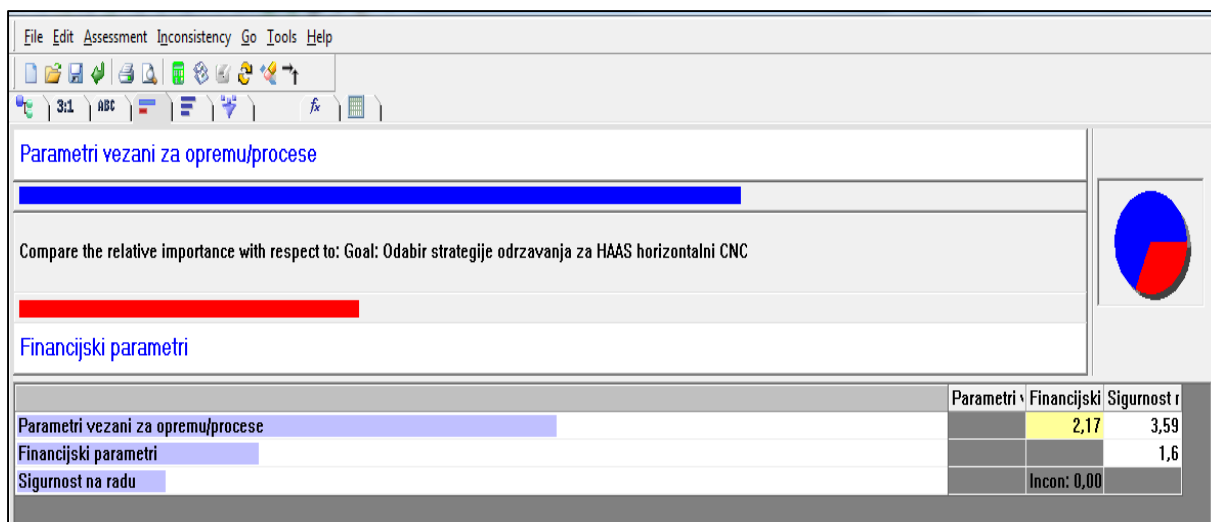


Slika 24. Struktura problema s kriterijima i alternativama

Nakon definiranja problema provodi se usporedba kriterija i podkriterija u parovima, kako bi se odredili značajniji i manje značajni kriteriji i podkriteriji. Usporedba kriterija provedena je pomoću grafičkih prikaza kao što je vidljivo u daljnjem tekstu.

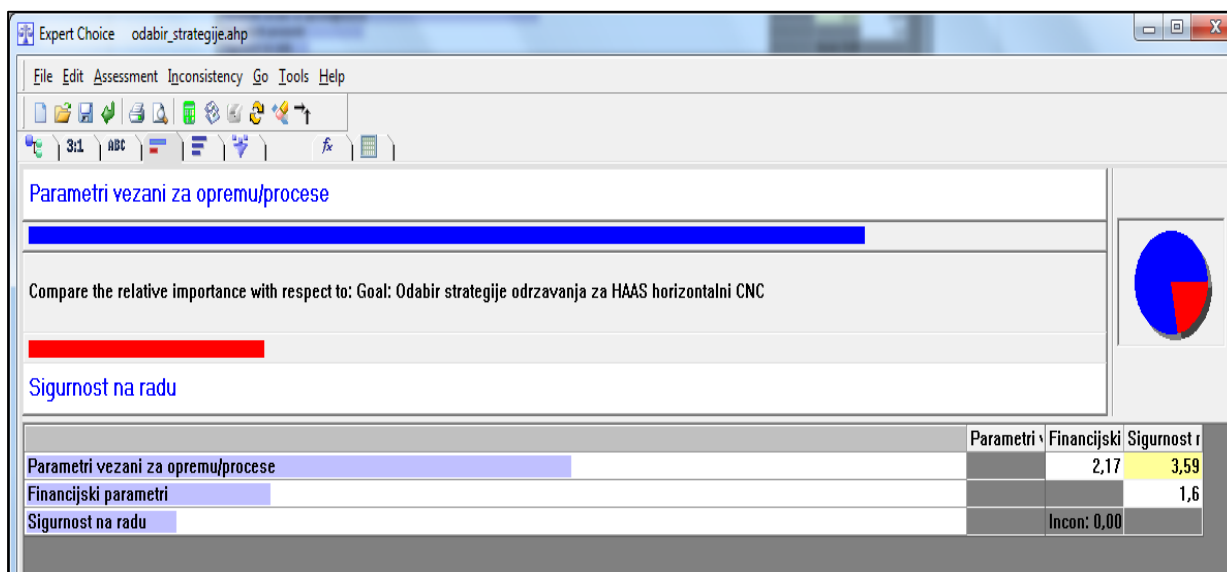
Dodjeljivanje težina kriterijima provedeno je uzimajući u obzir ciljeve održavanja HAAS EC-500 obradnog centra. Kao što je već rečeno, od ključne je važnosti da stroj bude u što većoj mjeri dostupan i spreman za proizvodnju. Cilj je postići što bolje performanse i imati nula gubitaka. Prema tome, najveća težina dodijeljena je kriteriju parametri vezani za opremu i procese, unutar kojega se kao najvažniji podkriterij odabrala ukupna efektivnost opreme koja je definirana kao umnožak raspoloživosti, kvalitete izrade i brzine izrade.

Na *Slici 25* prikazana je grafička usporedba kriterija Parametri vezani za opremu i procese-Financijski parametri.



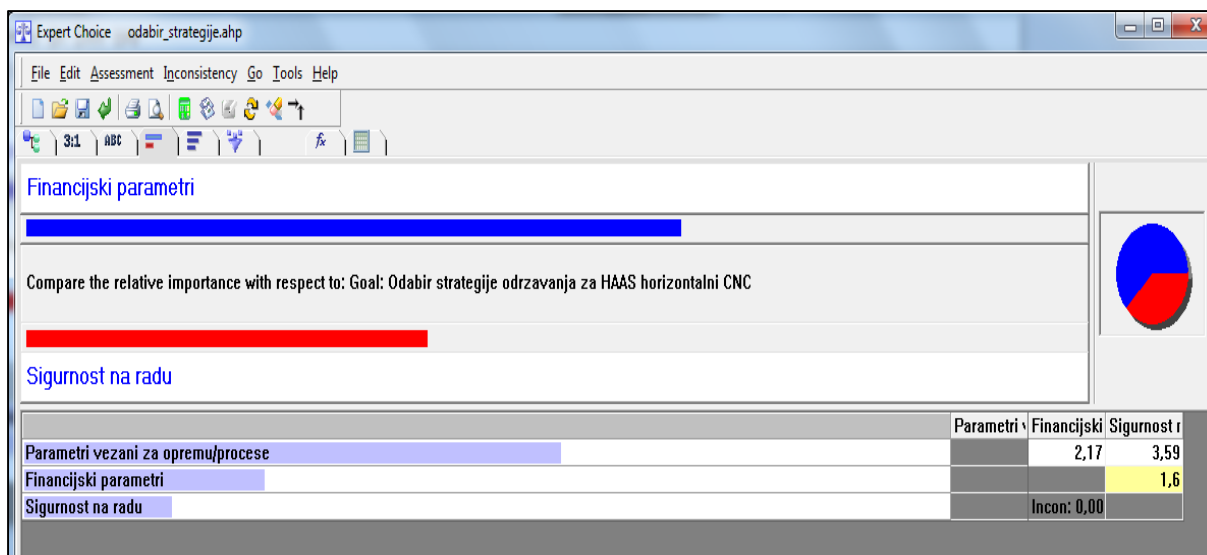
Slika 25. Usporedba kriterija parametri vezani za opremu i procese i financijski parametri

Nakon toga, vrši se usporedba kriterija Sigurnost na radu i Parametri vezani za opremu i procese (Slika 26).



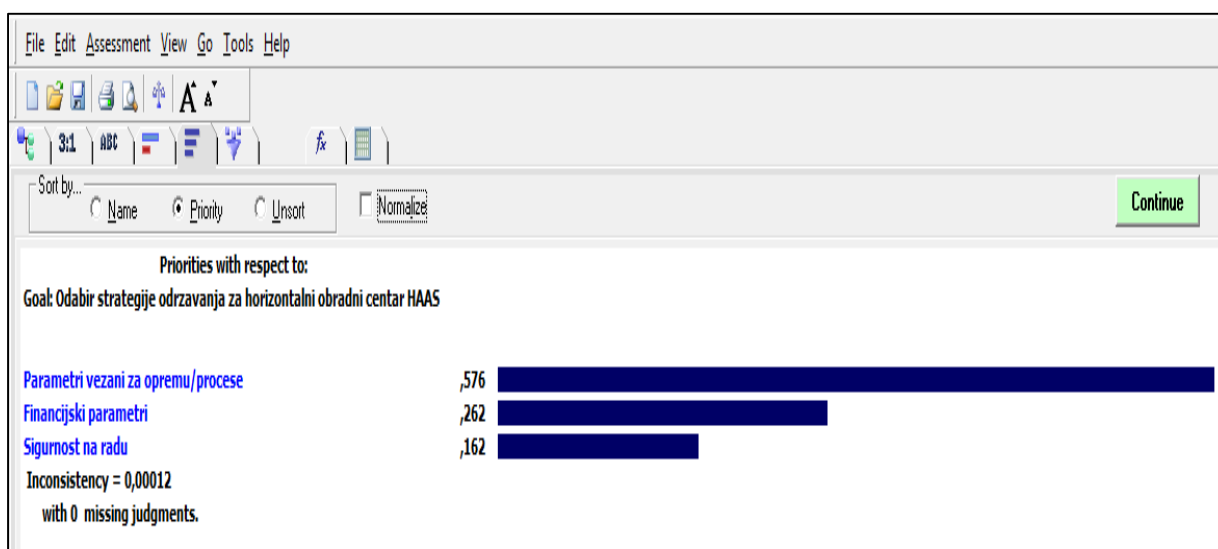
Slika 26. Usporedba kriterija parametri vezani za opremu i procese i sigurnost na radu

Na posljepku, potrebno je još usporediti kriterije Sigurnost na radu i Financijski parametri (Slika 27.).



Slika 27. Usporedba kriterija financijski parametri i sigurnost na radu

Nakon međusobne usporedbe kriterija, kriterij s najvećim utjecajem su Parametri vezani uz opremu i procese (Slika 28).



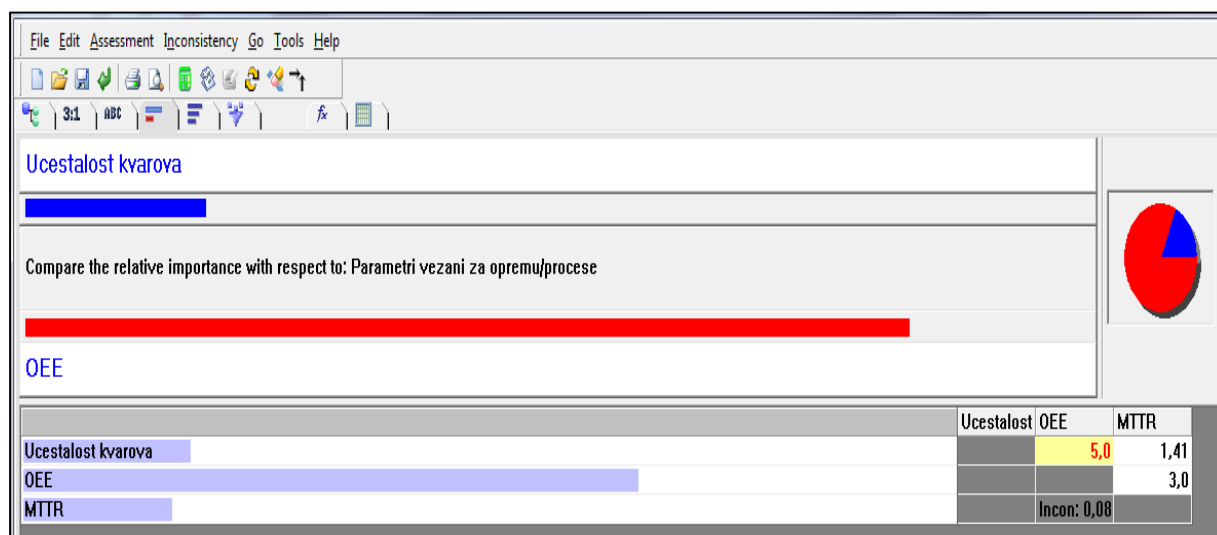
Slika 28. Relativne važnosti (težine) kriterija

Konzistentnost je 0,012 % što je prihvatljivo jer vrijednost ispod 10% znači da je odluka konzistentna.

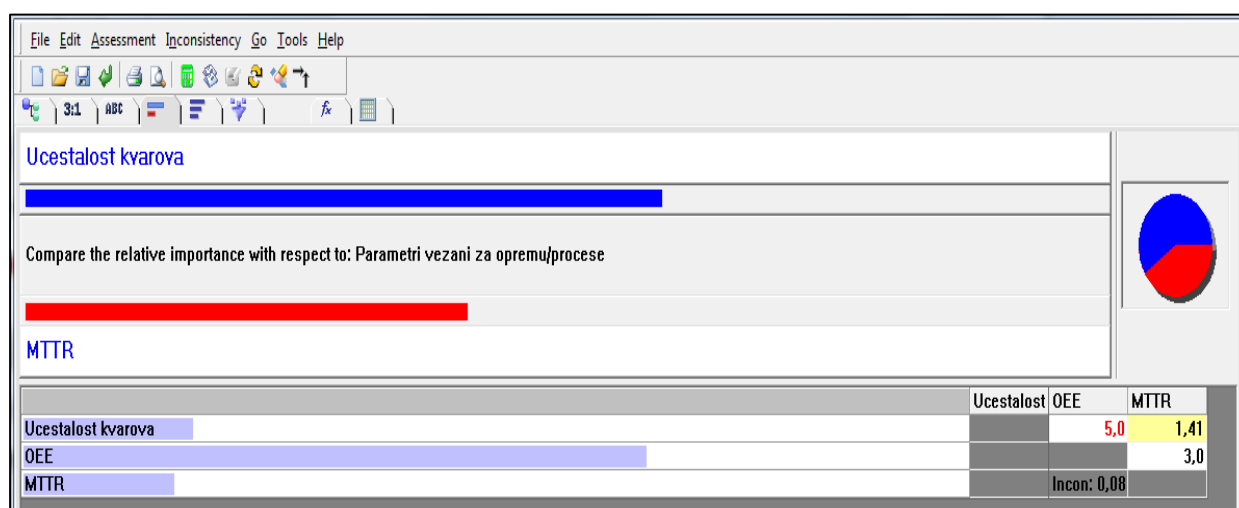
Nakon usporedbe kriterija radimo usporedbu pojedinih podkriterija unutar kriterija.

Unutar kriterija Parametri vezani uz opremu i procese radi se usporedba dodatna tri podkriterija.

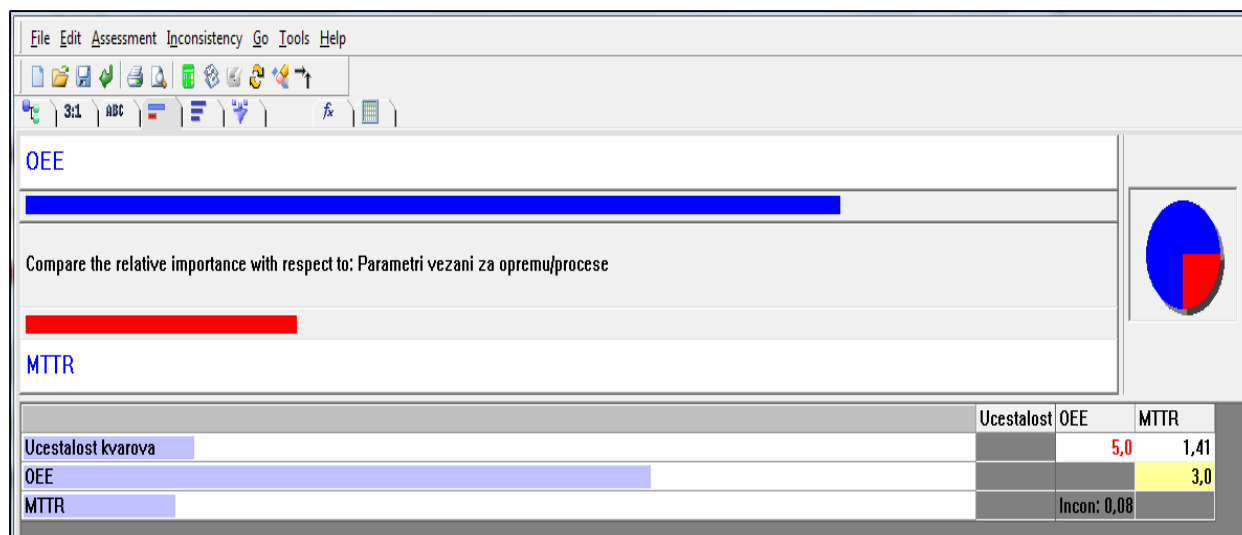
- 1.) Učestalost kvarova – OEE (*Slika 29*)
- 2.) Učestalost kvarova – MTTR (*Slika 30*)
- 3.) MTTR – OEE (*Slika 31*)



Slika 29. Usporedba učestalost kvarova i OEE

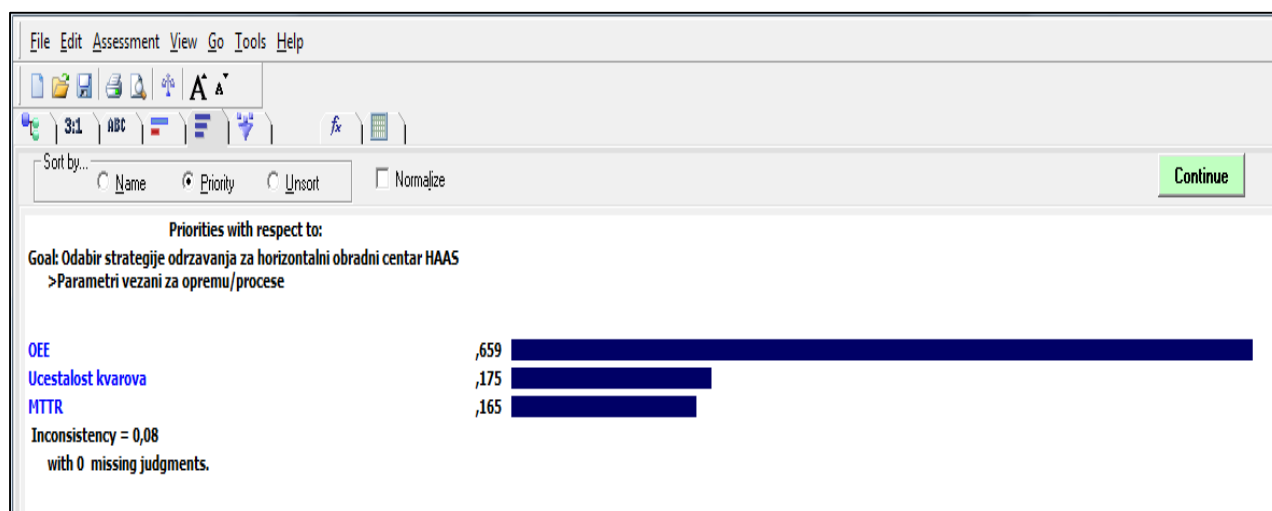


Slika 30. Usporedba učestalost kvarova i MTTR



Slika 31. Usporedba OEE i MTTR

Podkriterij s najvećim utjecajem unutar kriterija Parametri vezani za opremu i procese je OEE. S ukupnom konzistentnošću 8%.

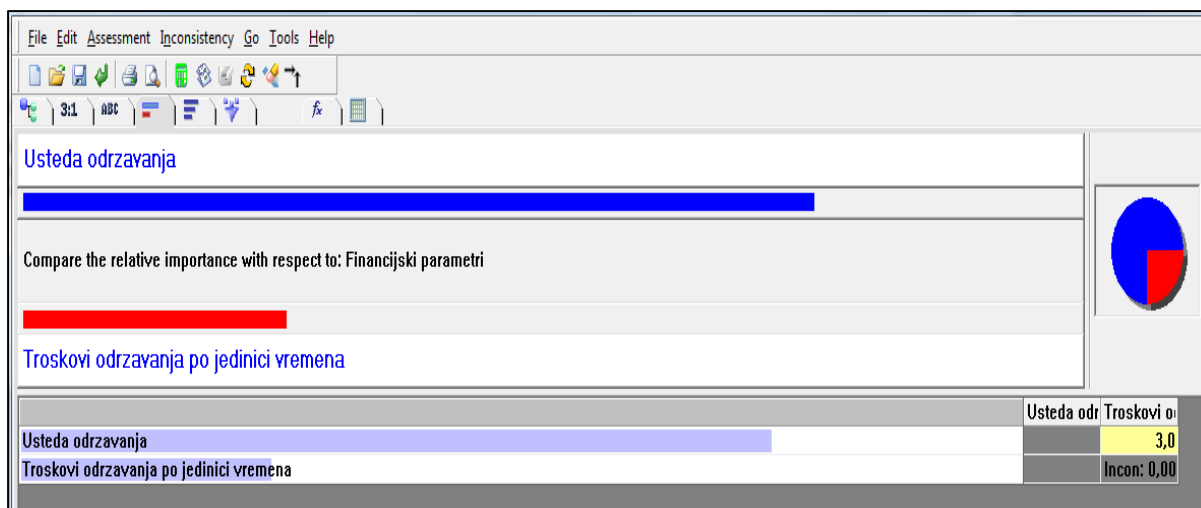


Slika 32. Relativna važnost (težine) podkriterija

Nakon toga radi se usporedba podkriterija unutar kriterija Financijski parametri.

Unutar kriterija Financijski parametri radi se usporedba dodatna dva podkriterija (Slika 33)

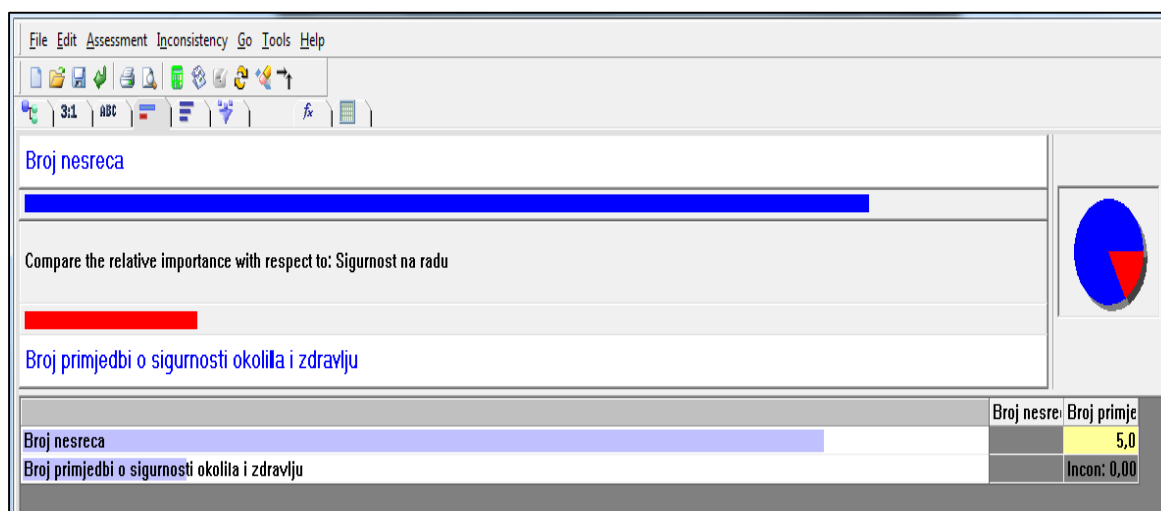
- 1.) Ušteda održavanja
- 2.) Troškovi održavanja po jedinici vremena



Slika 33. Usporedba podkriterija ušteda održavanja i Troškovi održavanja po jedinici vremena

Unutra kriterija Sigurnost na radu uspoređuju se dva dodatna podkriterija (*Slika 34*):

- 1.) Broj nesreća
- 2.) Broj primjedbi o sigurnosti okoline i zdravlju



Slika 34. Usporedba podkriterija Broj nesreća i Broj primjedbi o sigurnosti okoline i zdravlju

Nakon međusobne usporedbe kriterija i podkriterija uspoređuju se alternative s obzirom na svaki podkriterij. Težine alternativa s obzirom na kriterije dodjeljivanje su na temelju znanja o ciljevima, prednostima i nedostacima pojedinih alternativa, stečenih tijekom izrade ovog rada

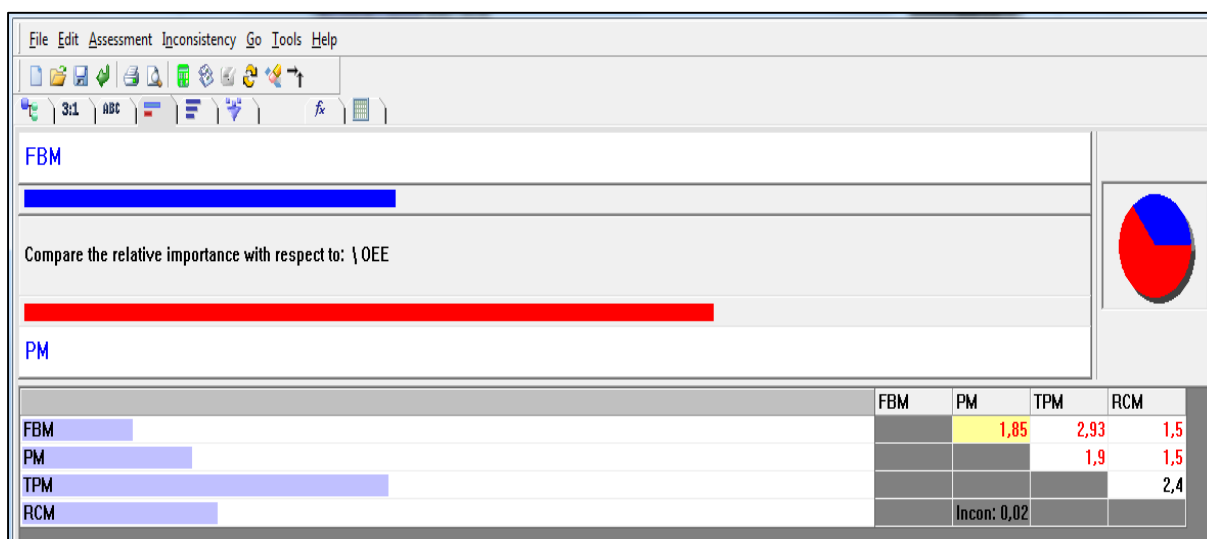
te informacijama o strategijama održavanja koje su navedene u radu. Na osnovu ciljeva TPM-a, (navedenih u poglavlju 2.5.2.):

- Povećanje produktivnosti strojeva
- Poboljšavanje uvjeta rada (sigurnost na radu)
- Održavanje opreme na najvišoj razini performansi

za kriterij parametri vezani uz opremu i procese, alternativa kojoj je dodijeljena najveća težina je TPM. Također se uzelo u obzir glavno načelo TPM-a, postizanje najboljih proizvodnih karakteristika anuliranjem gubitaka kroz tri obilježja – raspoloživost, kvaliteta izrade, brzina izrade.

Zbog nedostataka RCM-a navedenih u poglavlju 2.7., a gdje se između ostalog spominje ignoriranje fizikalne okoline sustava, veće težine za kriterij sigurnost na radu dodijeljene su alternativni TPM.

Primjer usporedbe alternativa s obzirom na kriterije na *Slici 35*.

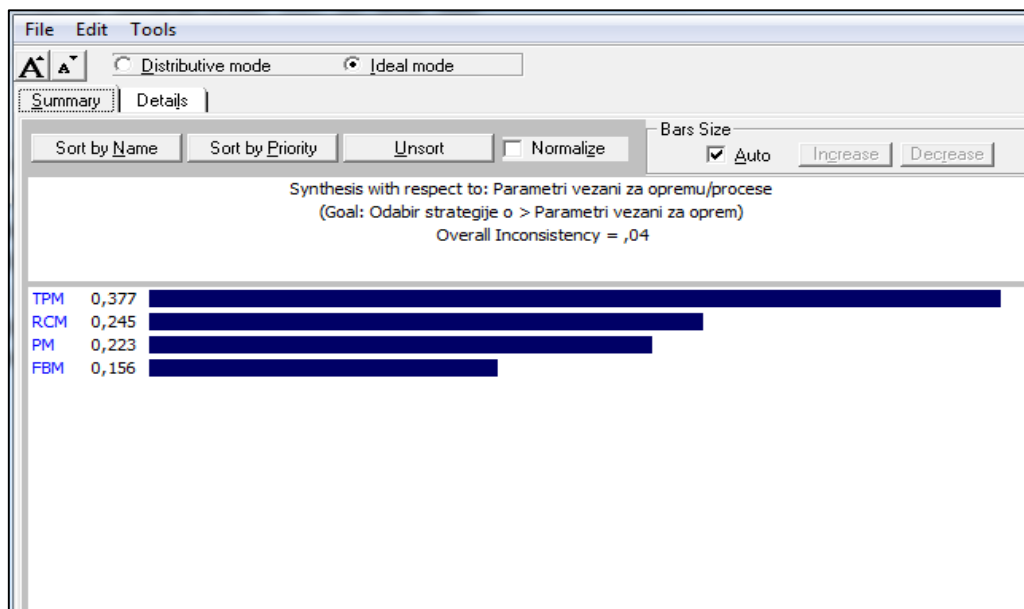


Slika 35. Usporedba FBM i PM s obzirom na podkriterij OEE

Takva usporedba se vrši za sve kombinacije i sve podkriterije. Nakon završetka uspoređivanja svih alternativa, dolazimo do konačnih rezultata koji su prikazani u poglavlju 6.2.1.

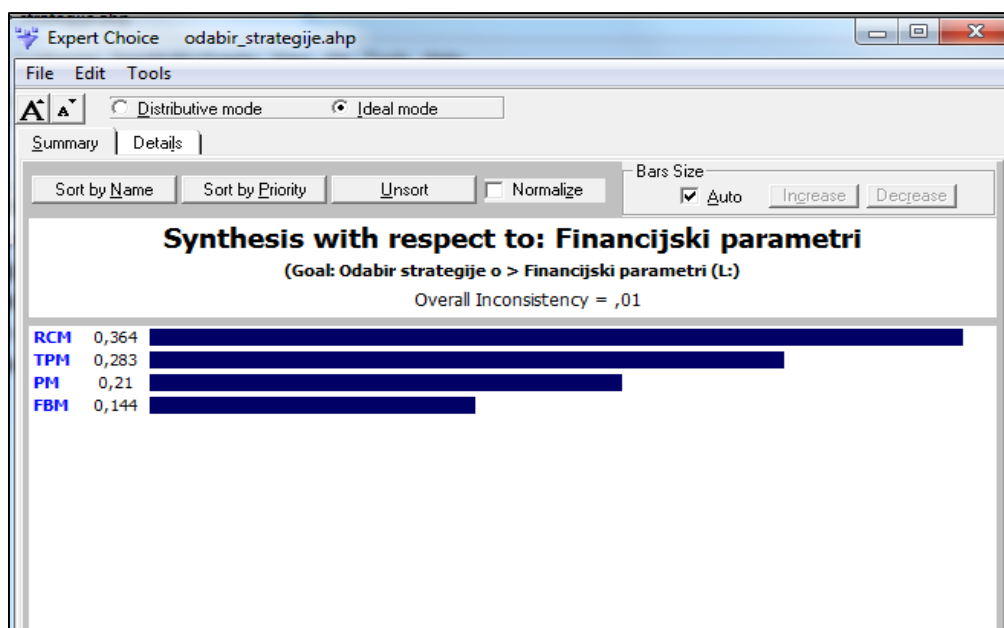
6.2.1. Rezultati AHP metode odlučivanja

Najznačajnija alternativa s obzirom na kriterij Parametri vezani za opremu i procese je TPM, a odmah iza nje slijedi RCM (Slika 36).



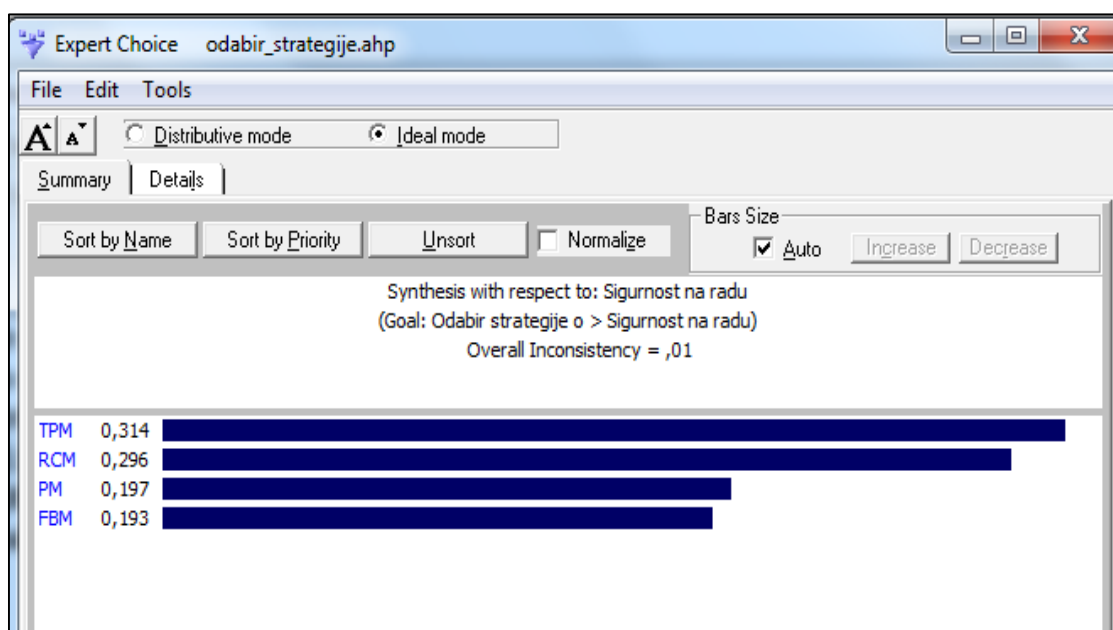
Slika 36. Poredak alternativa s obzirom na Parametri vezani za opremu i procese

Najznačajnija alternativa s obzirom na kriterij Financijski parametre je RCM, a slijedi je TPM (Slika 37).



Slika 37. Poredak alternativa s obzirom na kriterij Financijski parametri

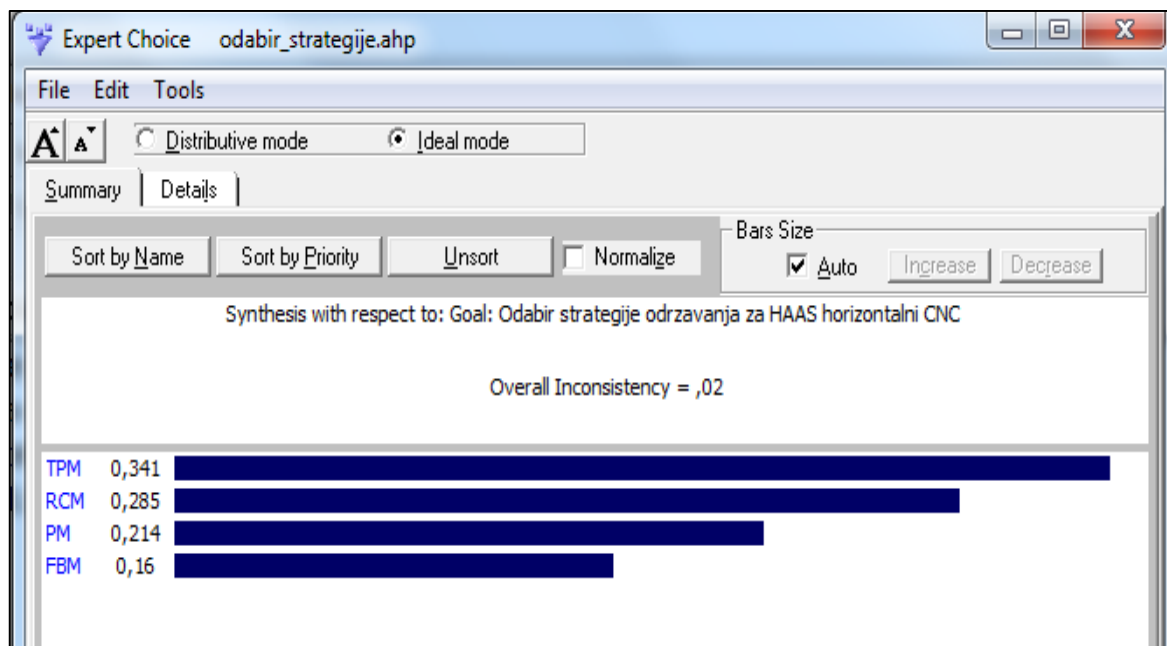
Najznačajnija alternativa s obzirom na kriterij Sigurnost na radu je TPM, a slijedi je RCM (Slika 38).



Slika 38. Poredak alternativa s obzirom na kriterij Sigurnost na radu

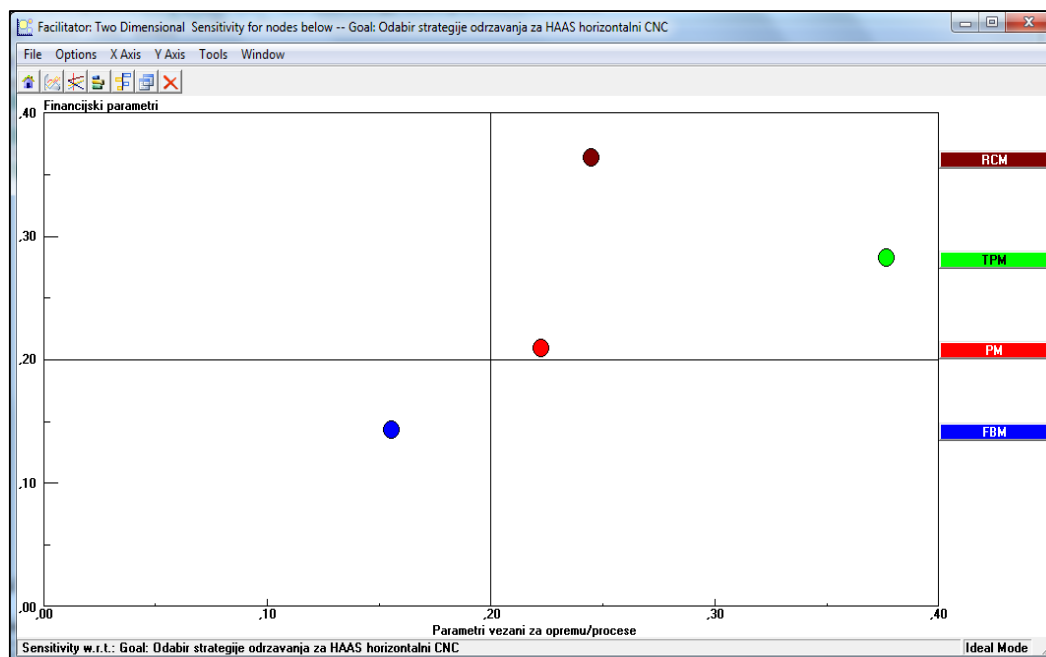
Konačni rezultati izbora strategije održavanja prikazani su na Slici 39. Kao najbolja strategija dobivena je TPM (eng. *Total Productive Maintenance*), iza nje slijede RCM (eng. *Reliability Centred Maintenance*), zatim PM (eng. *Preventive Maintenance*) i FBM (eng. *Failure Based Maintenance*). To se moglo i očekivati s obzirom na to da je za najznačajniji kriteriji (Parametri

vezani za procese i opremu) i najznačajniji kriterij unutar tog kriterija (OEE), strategija TPM imala najveće težine.



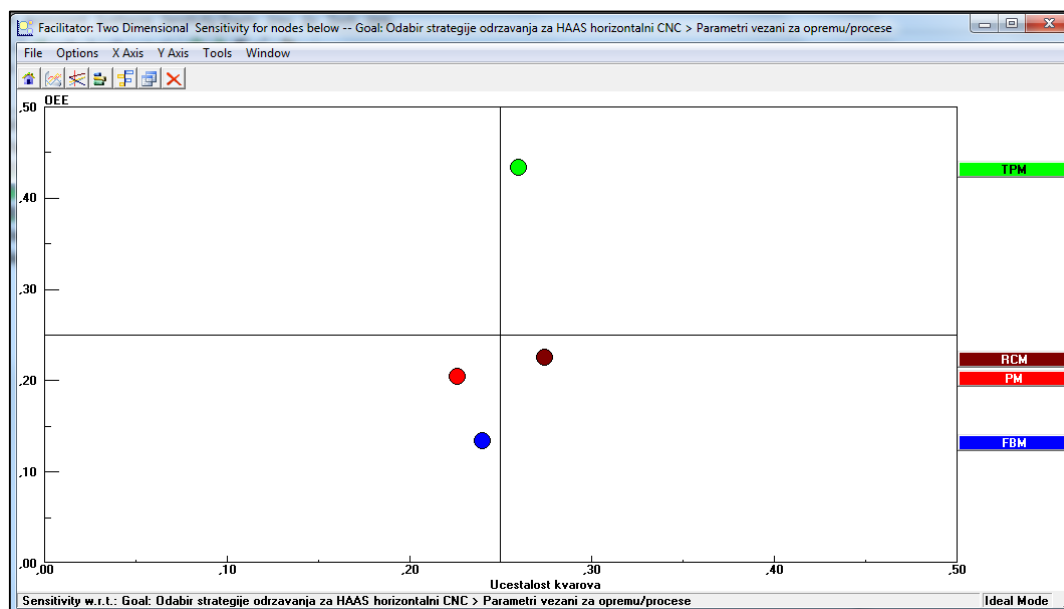
Slika 39. Konačni poredak alternativa s obzirom na cilj

Slika 40 prikazuje prioritete alternativa u 2D grafu s obzirom na dva najznačajnija kriterija, na x-osi se nalazi kriterij Parametri vezani za opremu i procese, a na y-osi Financijski parametri. Vidljivo je da je najznačajnija alternativa kada je riječ o kriteriju Parametri vezani za opremu i procese TPM, a kada govorimo o kriteriju Financijski parametri tada je najznačajnija alternativa RCM. Isto tako, se može zaključiti da je alternativa FBM najlošija za oba parametra.



Slika 40. Prioriteti alternativa s obzirom na kriterije u 2D grafu

Isto tako, u 2D grafu može se vidjeti i značajnost alternativa s obzirom na podkriterije. Na *Slici 41* se vidi koje su alternative značajne za podkriterije OEE i Učestalost kvarova, koji se nalaze unutar kriterija Parametri vezani za opremu i procese. Na x-osi se nalazi podkriterij Učestalost kvarova, a na y-osi podkriterij OEE.



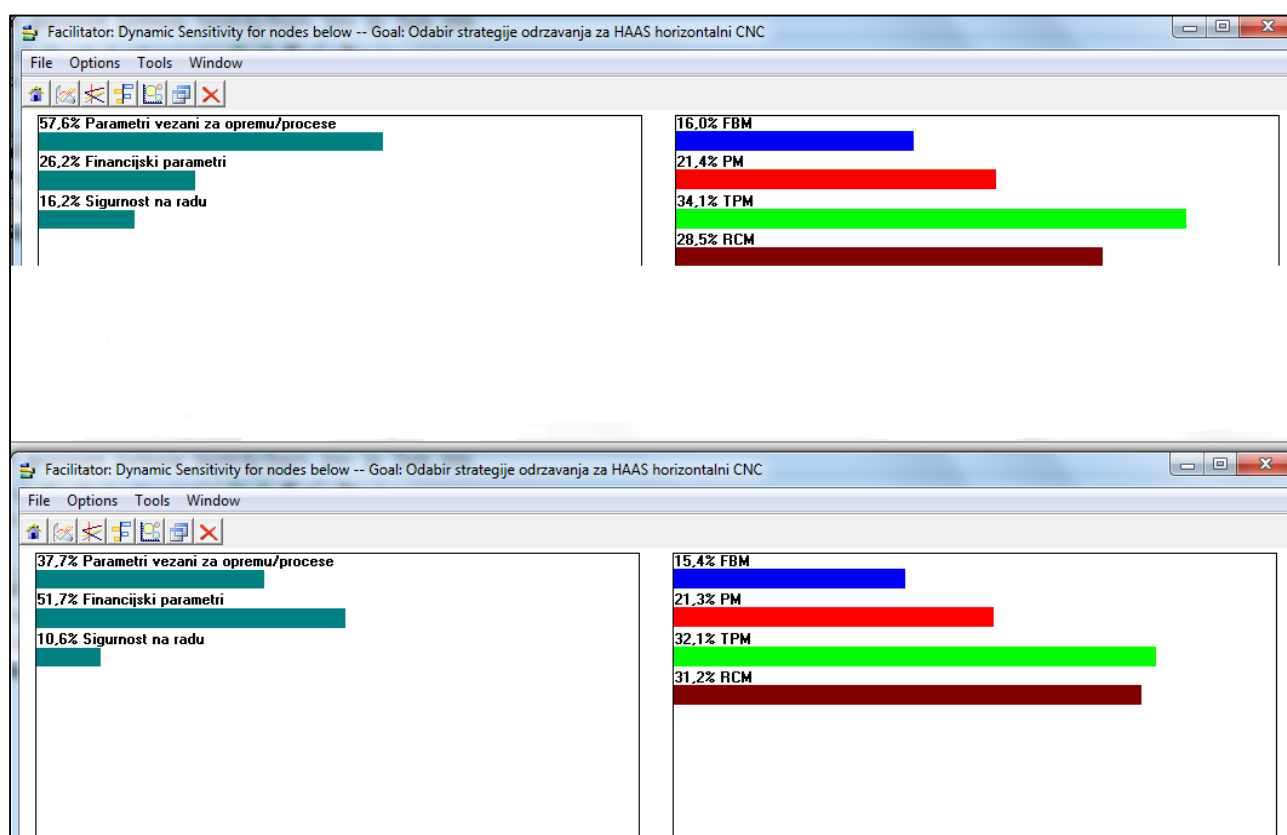
Slika 41. Prioriteti alternativa s obzirom na podkriterije u 2D grafu

Kada je riječ o podkriteriju OEE prednost ima TPM strategija održavanja, dok je RCM samo u maloj prednosti za podkriterij učestalost kvarova.

6.2.2. Analiza osjetljivosti

Preko analize osjetljivosti – opcije Dynamic moguće je vidjeti kako se dinamički mijenjaju prioriteta alternativa ukoliko se mijenjaju težine pojedinih kriterija. Moguć je prikaz simulacije na svim razinama u modelu. Ovaj tip analize osjetljivosti ima i opciju Components (Komponente) u kojoj je moguće vidjeti udjele težina pojedinih kriterija u ukupnom prioritetu alternativa. Pomoću opcije Dynamic dobiva se odgovor na pitanje: "Kolika bi trebala biti težina pojedinog kriterija da bi određena alternativa dobila prednost pred drugom alternativom?"

Na *Slici 42* je prikazana usporedba značajnosti alternativa prilikom promjene težina kriterija.

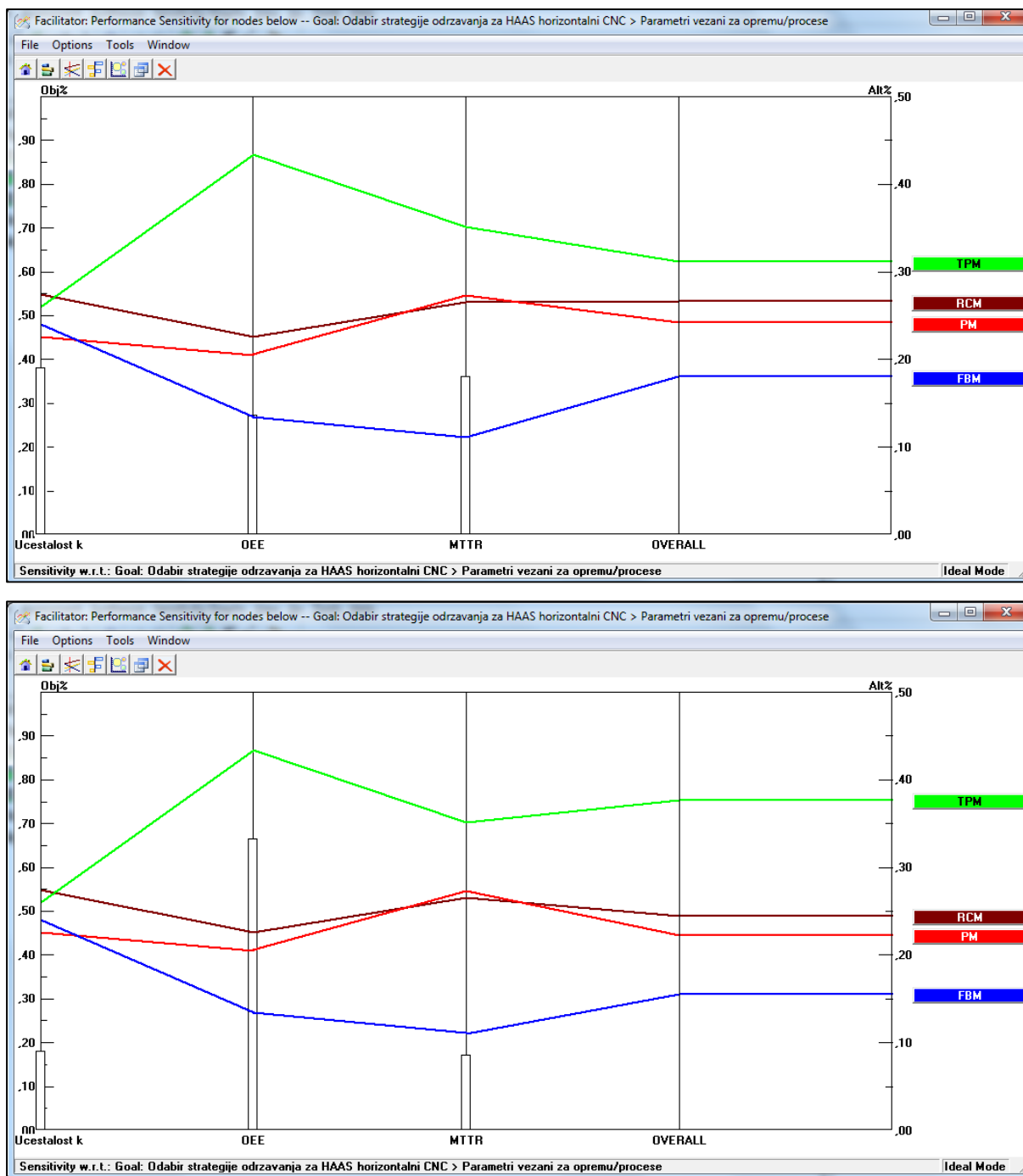


Slika 42. Usporedba značajnosti alternativa prilikom promjene težina kriterija

Kriteriju Financijski parametri povećana je težina, tj. dobio je prednost pred kriterijem Parametri vezani za opremu i procese. Vidljivo je da je u tom slučaju strategija održavanja RCM dobila na važnosti, tj. njena se značajnost povećala. Međutim, i dalje se kao najbolja strategija pokazuje TPM. U slučaju kad bi se kriteriju Financijski parametri još dodatno povećala težina, strategija RCM bila bi u prednosti nad TPM.

Analiza osjetljivosti putem grafa performansi pokazuje slične rezultate kao graf dinamičnosti samo na drugačiji način. Težine kriterija se mijenjaju kako bi se pokazao njihov utjecaj na prioritete alternativa.

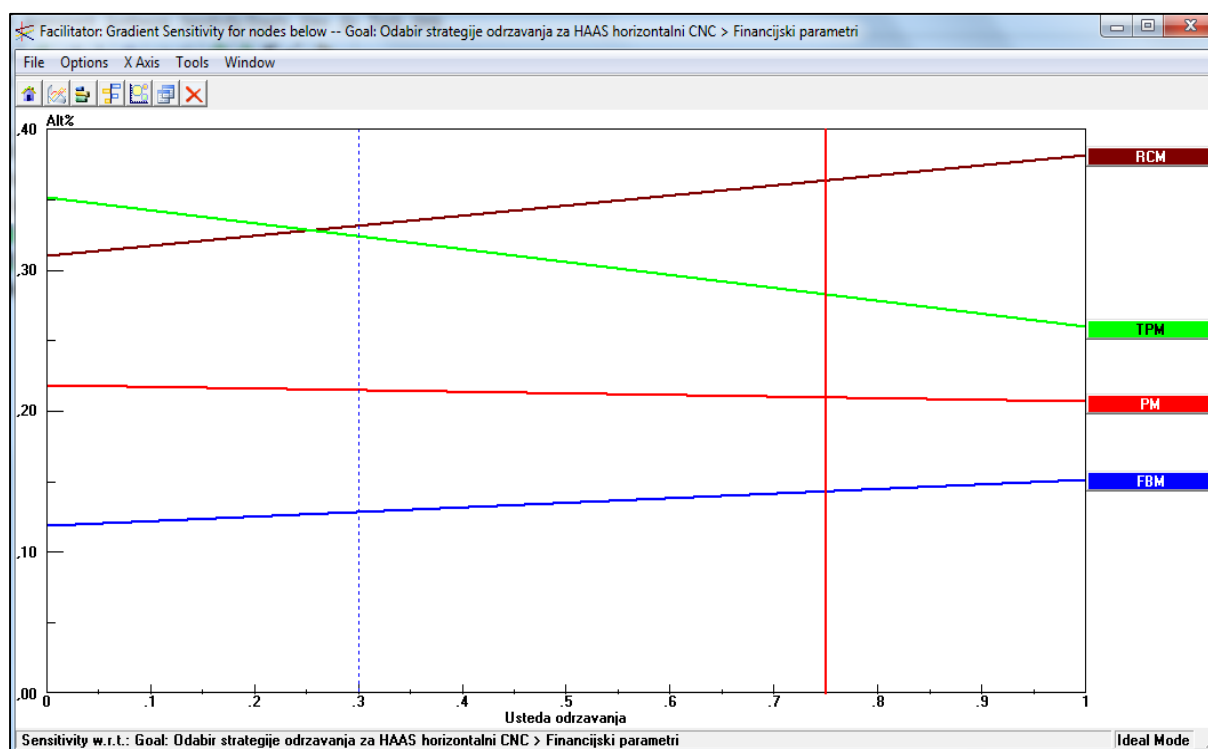
Na *Slici 43* se vidi usporedba značajnosti alternativa pomoću grafa performansi, a s obzirom na podkriterije Učestalost kvarova, OEE, MTTR.



Slika 43. Graf performansi

Smanjenjem težine podkriterija OEE, a povećanjem težina podkriterija MTTR i Učestalost kvarova, smanjuje se značajnost strategije TPM, i ta strategija postaje približno jednako značajna kao RCM. Isto tako, važno je primijetiti da bez obzira na promjenu težina podkriterija, FBM i dalje ostaje najmanje značajna alternativa.

Na *Slici 44* prikazuje se analiza osjetljivosti putem grafa gradijenta s obzirom na podkriterij ušteda održavanja. Uz pomoć ove opcije softver omogućuje da se vidi koliko su prioriteti alternativa osjetljivi na promjene težina pojedinih kriterija.



Slika 44. Analiza osjetljivosti gradijentnim grafom

Vertikalna crvena linija prikazuje težinu kriterija dobivenu nakon usporedbe prema Saatyjevoj skali, dok isprekidana plava linija prikazuje trenutno odabranu težinu kriterija. S desne strane prikazuju se ukupni prioriteti alternativa za trenutno odabranu težinu kriterija. Na slici se može vidjeti da prioritet strategije održavanja RCM raste s porastom težine podkriterija Ušteda održavanja, dok strategija održavanja TPM opada s porastom težine podkriterija Ušteda održavanja.

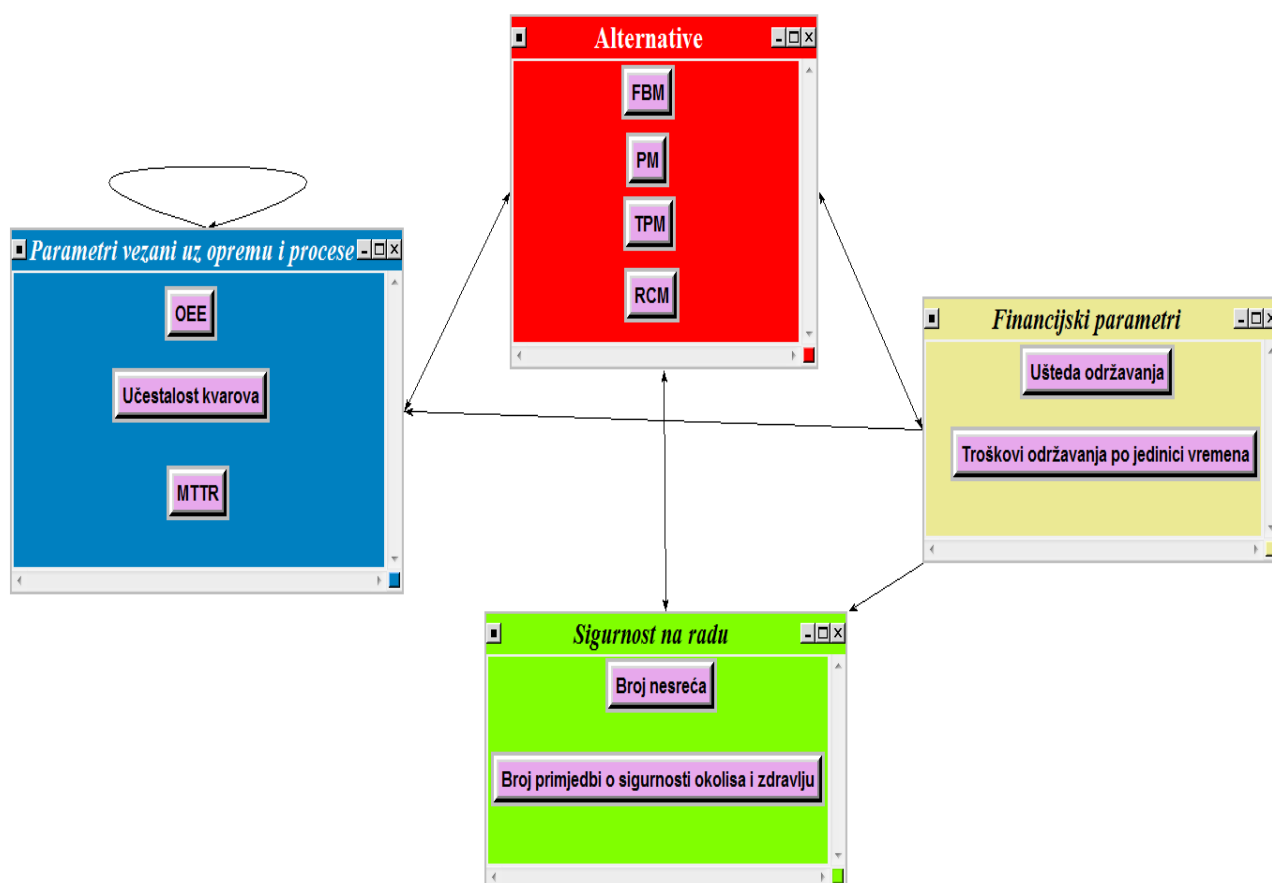
6.3. Odabir strategije održavanja ANP metodom

Mrežna ANP struktura kompleksnija je i zahtjevnija od hijerarhijske strukture AHP-a jer u obzir uzima različite forme ovisnosti i povratne veze između kriterija i alternativa te na taj način bolje prilagođava problem stvarnim uvjetima. Zavisnosti i povratne veze između čvorova i klastera (kriterija, podkriterija, alternativa), postavljene su temeljem znanja i informacija prikupljenih iz različitih izvora te informacija o strategijama održavanja navedenim u ovom radu.

Softver koji je korišten za provedbu ANP metode je SuperDecision koji se koristi u akademske svrhe. Navedeni softver je besplatan i pruža slične opcije kao Expert Choice. Najvažnija razlika je u tome što SuperDecision podržava ANP i AHP metodu, dok Expert Choice podržava samo AHP metodu.

Na *Slici 45* su prikazane veze između klastera u modelu, koje se mogu interpretirati na sljedeći način:

- a) Strelica koja ide od jednog klastera prema drugom označava da je barem jedan čvor iz prvog klastera povezan s čvorom u drugom klasteru
- b) Ukoliko klaster ima petlju, ona se interpretira kao zavisnost barem jednog čvora u klasteru od drugog čvora u istom klasteru

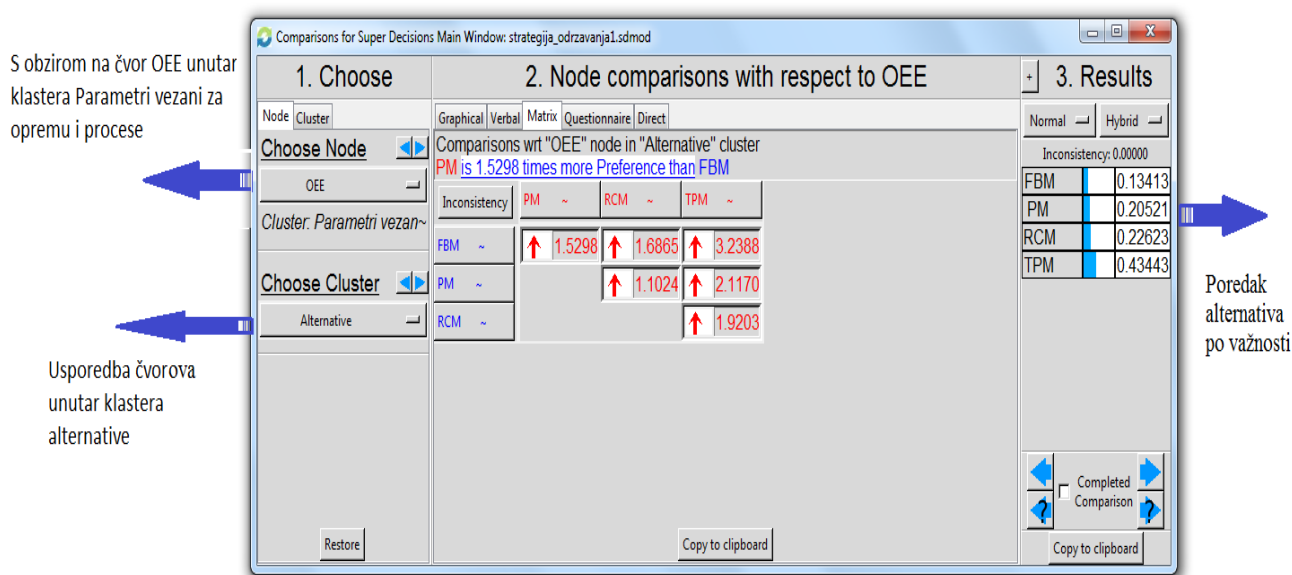


Slika 45. Struktura problema ANP metode

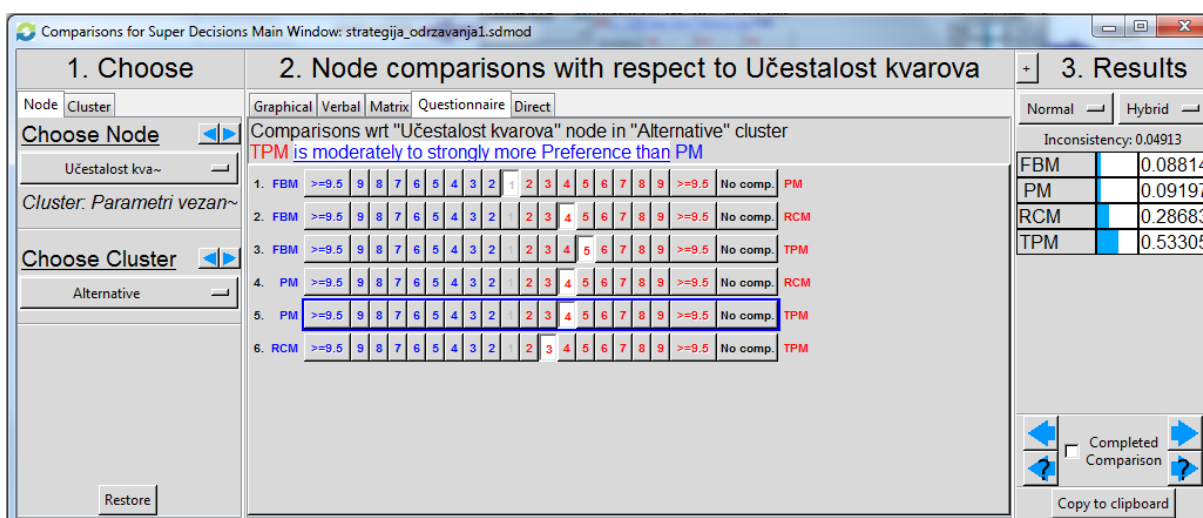
Usporedbe klastera i čvorova kod ANP metode odvijaju se na sličan način kao kod AHP metode.

Neke su izvršene na identičan način kao kod AHP metode. Strategije održavanja tj. čvorovi unutar klastera alternative uspoređivani su s obzirom na podkriterije tj. čvorove unutar ostalih klastera (Parametri vezani za opremu i procese, Financijski parametri, Sigurnost na radu).

Primjeri takve usporedbe prikazani su na *Slici 46* i *Slici 47*.



Slika 46. Matrična usporedba alternativa s obzirom na čvor OEE

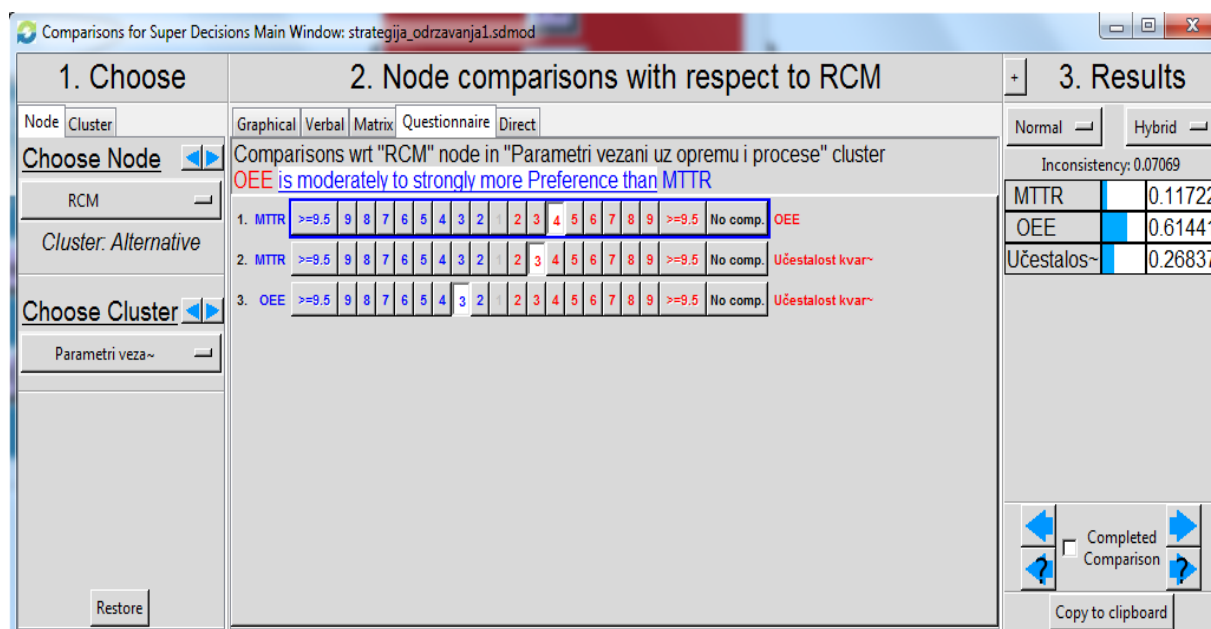


Slika 47. Usporedba alternativa s obzirom na čvor Učestalost kvarova

Na *Slici 46* je prikazana matrična usporedba svih alternativa s obzirom na čvor OEE unutar klastera Parametri vezani za opremu i procese. A na *Slici 47* usporedba s obzirom na čvor Učestalost kvarova unutar klastera Parametri vezani za opremu i procese. Takva usporedba se provodi za svih 7 čvorova unutar klastera. A značajnost alternativa s obzirom na pojedini čvor prikazuje se odmah desno na zaslonu softvera.

Međusobna usporedba čvorova unutar klastera, ne odvija se na isti način kao kod AHP metode. Usporedba podkriterija kod AHP metode vrši se s obzirom na kriterij u kojem se ti podkriteriji nalaze. Npr. usporedba podkriterija OEE, Učestalost kvarova, MTTR vrši se s obzirom na

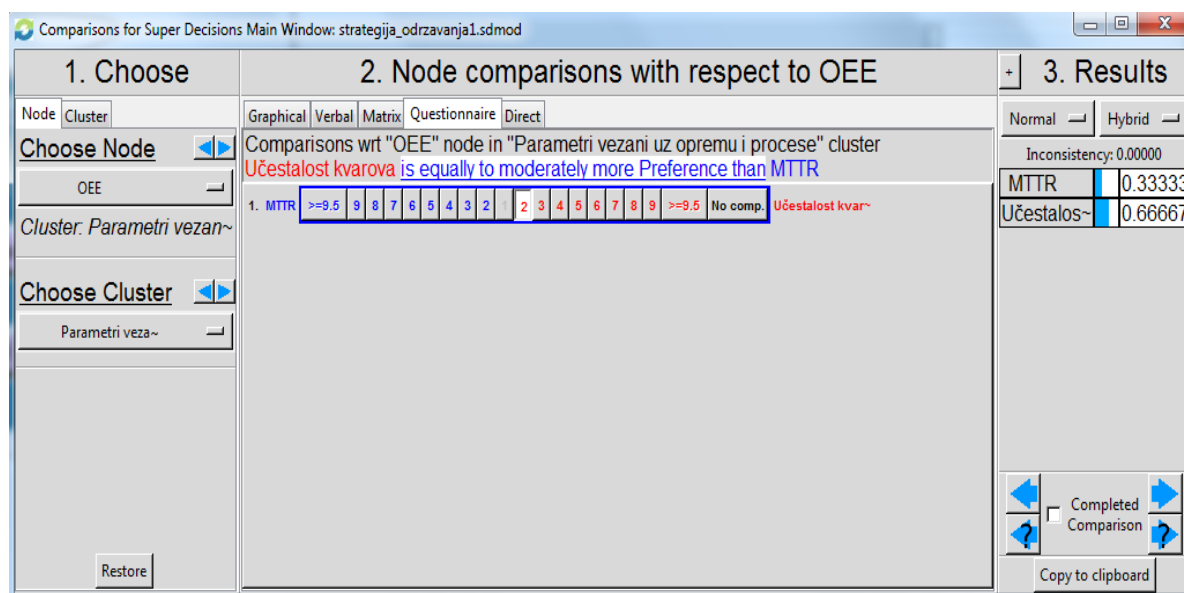
kriterij Parametri vezani za opremu i procese. Kod ANP metode, usporedba podkriterija (čvorova) ne vrši se s obzirom na kriterij već s obzirom na svaku pojedinu alternativu (*Slika 48*).



Slika 48. Usporedba čvorova s obzirom na RCM alternativu

Slika 48 prikazuje usporedbu čvorova MTTR-OEE, MTTR-Učestalost kvarova, OEE-Učestalost kvarova unutar klastera Parametri vezani za opremu i procese, s obzirom na alternativu RCM.

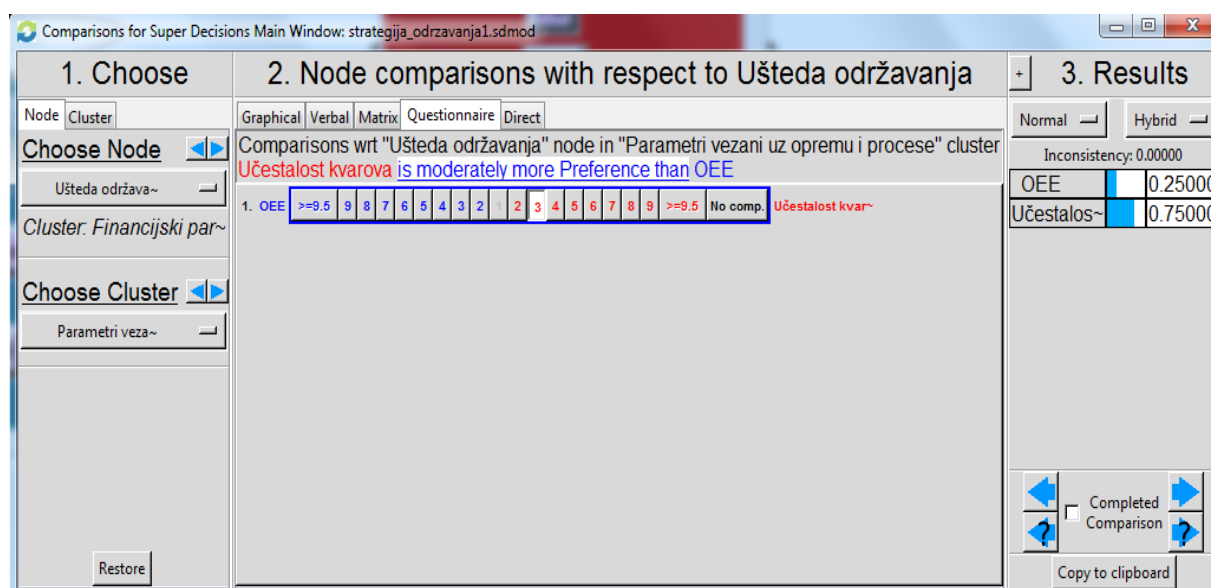
Pomoću petlje na klasteru Parametri vezani za opremu i procese koja se interpretira kao zavisnost čvora OEE o čvorovima MTTR i Učestalost kvarova, dobiva se još jedna dimenzija usporedbe koja se ne primjenjuje u AHP metodi. Radi se procijena koliko na Učestalost kvarova i MTTR utječe OEE tj. da li vrijednost OEE više utječe na Učestalost kvarova ili MTTR. Ta usporedba prikazana je na *Slici 49*.



Slika 49. Zavisnost (petlja) unutar klastera

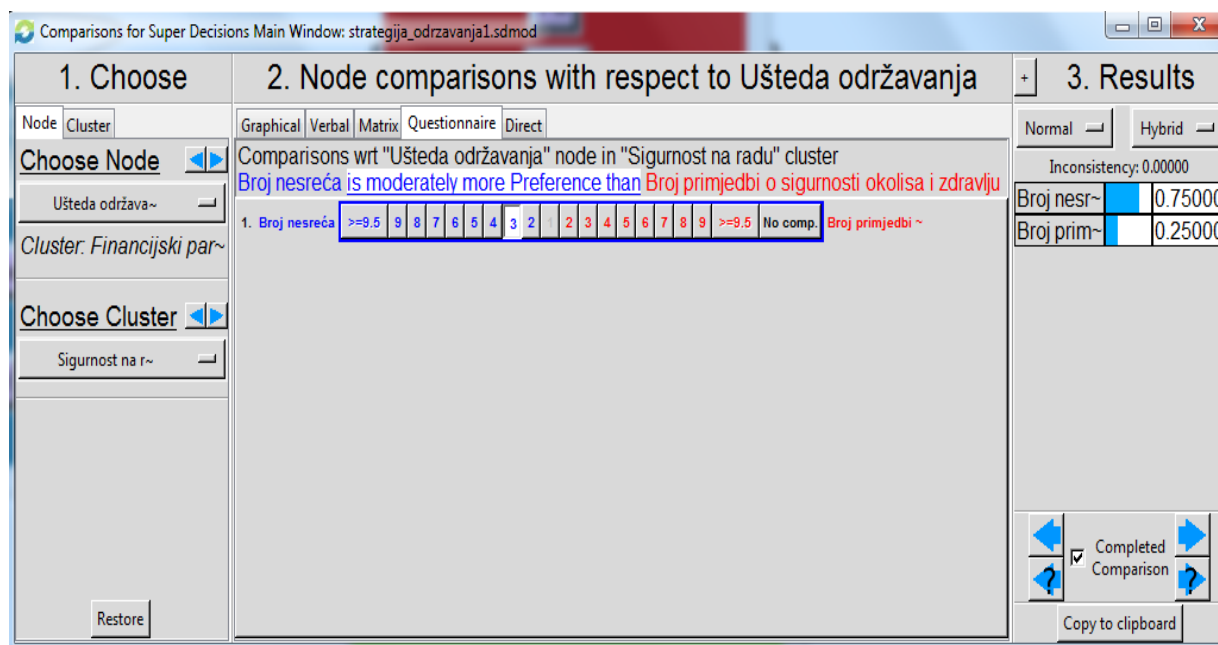
Sljedeća razlika s obzirom na AHP metodu je usporedba podkriterija unutar jednog kriterija s obzirom na podkriterij unutar drugog kriterija, tj. usporedba čvorova unutar jednog klastera s obzirom na čvor unutar drugog klastera.

U konkretnom slučaju radi se o usporedbi čvorova OEE i Učestalost kvarova unutar klastera Parametri vezani za opremu i procese, s obzirom na čvor Ušteda održavanja unutar klastera Financijski parametri. Tj. procjenjuje se da li na Uštedu u održavanju ima veći utjecaj vrijednost OEE ili Učestalost kvarova (Slika 50).



Slika 50. Usporedba čvora unutar jednog klastera s obzirom na čvor unutar drugog klastera

Također, radi se usporedba čvorova Broj nesreća i Broj primjedbi o sigurnosti okoliša i zdravlju unutar klastera Sigurnost na radu, s obzirom na čvor Ušteda održavanja unutar klastera Financijski parametri. Tj. procjenjuje se da li na Uštedu u održavanju ima veći utjecaj vrijednost Broj nesreća ili Broj primjedbi o sigurnosti okoliša i zdravlju (*Slika 51*).



Slika 51. usporedba čvorova Broj nesreća i Broj primjedbi o sigurnosti okoliša i zdravlju s obzirom na čvor Ušteda održavanja

Nakon svih usporedbi vrši se analiza rezultata.

Na *Slici 52* prikazani su težinski koeficijenti čvorova kao granične vrijednosti i vrijednosti normalizirane po klasterima. Vidljivo je da je podkriterij s najvećom težinom OEE, zatim slijedi učestalost kvarova i ušteda u održavanju.

Super Decisions Main Window: strategija_odrzavanja1.sdmod: Pr...

Here are the priorities.

Icon	Name	Normalized by Cluster	Limiting
No Icon	FBM	0.11529	0.048769
No Icon	PM	0.13195	0.055815
No Icon	RCM	0.29686	0.125570
No Icon	TPM	0.45589	0.192841
No Icon	Troškovi održavanja po jedinici vremena	0.22307	0.024722
No Icon	Ušteda održavanja	0.77693	0.086103
No Icon	MTTR	0.16442	0.060665
No Icon	OEE	0.45668	0.168495
No Icon	Učestalost kvarova	0.37889	0.139795
No Icon	Broj nesreća	0.73479	0.071441
No Icon	Broj primjedbi o sigurnosti okolisa i zdr~	0.26521	0.025785

Slika 52. Težinski koeficijenti čvorova

Sljedeća bitna stavka koju je potrebno prokomentirati je utjecaj klastera na alternative (Slika 53).

Super Decisions Main Window: strategija_odrzavanja1.sdmod: Cluster Matrix View

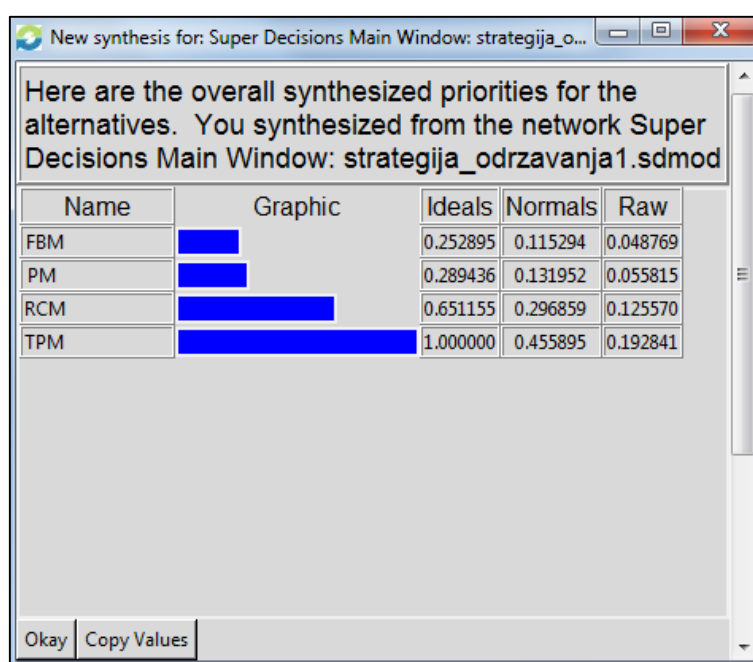
Cluster Node Labels	Alternative	Financijski parametri	Parametri vezani uz opremu i procese	Sigurnost na radu
Alternati ve	0.000000	0.333333	0.500000	1.000000
Financijsk i parametri	0.262000	0.000000	0.000000	0.000000
Parametri vezani uz opremu i procese	0.576000	0.333333	0.500000	0.000000
Sigurnos t na radu	0.162000	0.333333	0.000000	0.000000

Done

Slika 53. Matrica klastera

Iz prvog stupca matrice možemo vidjeti koji klasteri imaju kakav utjecaj na alternative. Ostali stupci u ovom konkretnom primjeru nisu relevantni zbog toga jer nismo radili usporedbu međusobnu usporedbu klastera.

Na *Slici 54* prikazani su prioriteti alternativa dobiveni ANP metodom. Rezultati su prikazani u tri moda: cjelokupan (eng. Raw), normalan (eng. Normal), idealan (eng. Ideal). Normalan mod prikazuje normalizirane prioritete alternativa tako da njihova suma iznosi 1. Idealan mod prikazuje prioritete alternativa dobivene na način da je prioritet svake alternative podijeljen s prioritetom alternative koja ima najviši prioritet, što je u ovom konkretnom slučaju TPM. Cjelokupan mod prikazuje vrijednosti preuzete direktno iz granične supermatrice te mreže.



Slika 54. Prioriteti alternativa ANP metode

ANP metoda kao najznačajniju strategiju održavanja za horizontalni obradni centar HAAS EC-500 pokazala je TPM strategiju, iza nje slijedi RCM, a tek onda PM i FBM.

Na posljétku, rezultati su prikazani u graničnoj supermatrici koja se dobije kao rezultat svake ANP analize (*Slika 55*).

Super Decisions Main Window: strategija_odrzavanja1.sdmod: Limit Matrix

	FBM	PM	RCM	TPM	Troškov~	Ušteda ~	MTTR	OEE	Učestal~	Broj ne~	Broj pr~
FBM	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877	0.04877
PM	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581	0.05581
RCM	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557	0.12557
TPM	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284	0.19284
Troškov~	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472	0.02472
Ušteda ~	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610	0.08610
MTTR	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066	0.06066
OEE	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850	0.16850
Učestal~	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980	0.13980
Broj ne~	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144	0.07144
Broj pr~	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578	0.02578

Slika 55. Granična supermatrica

Granična supermatrica sadrži granične prioritete elemenata ANP modela koji su ujedno prikazani na *Slikama 52 i 54*.

6.4. Usporedba ANP i AHP metode

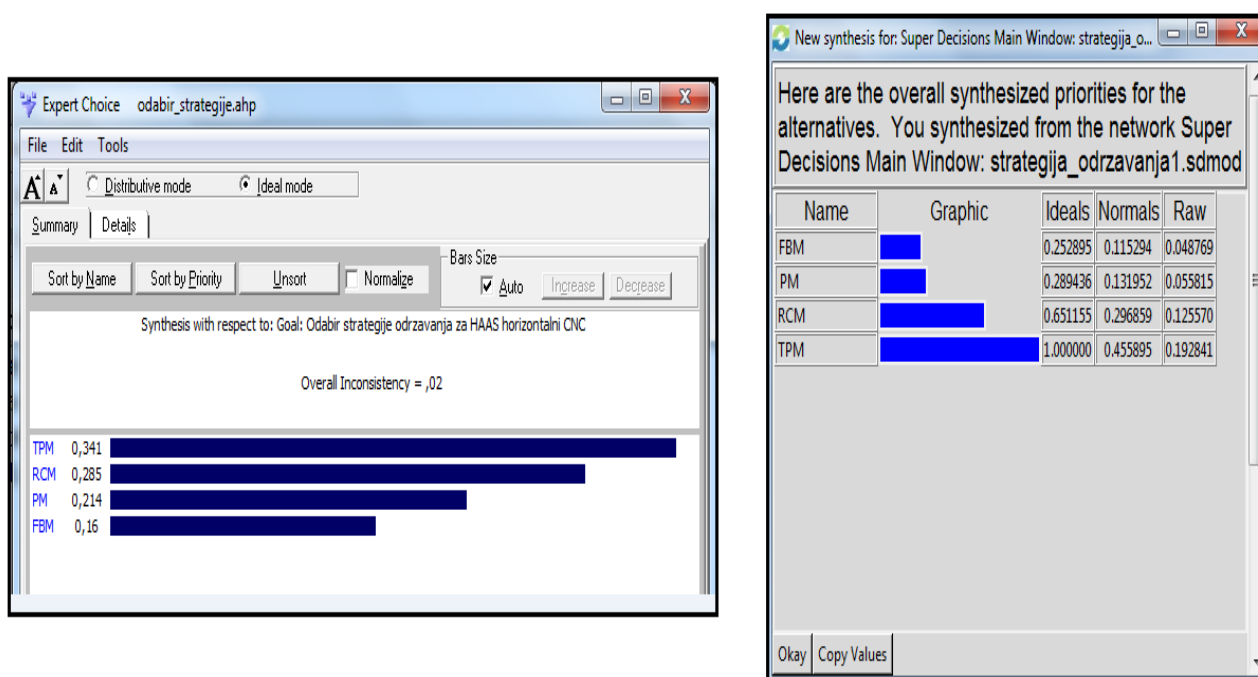
Glavna razlika između metoda AHP i ANP je ta da je ANP metoda nadogradnja AHP metode. Ta nadogradnja sastoji se u tome što metoda ANP omogućuje modeliranje kompleksnosti koja proizlazi iz povratnih veza između strukturnih elemenata problema odlučivanja. Umjesto jednostavnog, linearnog hijerarhijskog modela problema odlučivanja koji je temelj za AHP metodu, u modeliranju problema koji se rješava ANP metodom razvija se mrežna struktura. Prioriteti alternativa i težine kriterija i u metodi ANP se interpretiraju kao vrijednosti komponenata svojstvenih vektora odgovarajuće tzv. supermatrice.

Razlike između ANP i AHP metode u konkretnom primjeru odabira strategije održavanja za horizontalni obradni centar HAAS EC-500:

- 1.) Kriteriji u AHP metodi (Parametri vezani za opremu i procese, Financijski parametri, Sigurnost na radu) pretvoreni su u klastere u ANP metodi, podkriteriji u AHP-u predstavljaju čvorove unutar klastera u ANP-u, alternative ostaju zaseban klaster, a cilj u AHP metodi (Izbor strategije održavanja za horizontalni obradni centar) se u ANP metodi gubi
- 2.) Podkriteriji u AHP metodi uspoređuju se s obzirom na kriterij čiji su dio, dok se čvorovi (podkriteriji) kod ANP metode uspoređuju s obzirom na pojedinu alternativu

- 3.) Petlja na klasteru Parametri vezani za opremu i procese koja predstavlja zavisnost između čvorova unutar tog klastera pojavljuje se samo kod ANP metode. Takva unutarnja zavisnost nije moguća kod AHP metode
- 4.) Kod ANP metode uspoređuju se čvorovi OEE i Učestalost kvarova unutar klastera Parametri vezani za opremu i procese, s obzirom na čvor Ušteda u održavanju unutar klastera Financijski parametri. Takva usporedba ne provodi se kod AHP metode.

Na *Slici 56* je prikazana usporedba rezultata AHP i ANP metode.



Slika 56. Usporedba rezultata AHP i ANP metode

Na *Slici 56* je vidljivo da su ANP i AHP metodom dobiveni jednaki rezultati, tj. značajnost alternativa je jednaka u oba slučaja. Kao najznačajnija strategija održavanja za horizontalni obradni centar HAAS EC-500 u oba se slučaja pokazala RCM strategija održavanja, a kao najmanje značajna FBM strategija. Međutim, može se reći da ANP metoda rezultira stabilnijim rješenjem jer su zavisnosti unutar kriterija i podkriterija više, tj. razina povezanosti je viša.

Ovakvi rezultati nisu neočekivani, FBM strategija održavanja se očekivano pokazala kao najmanje značajna strategija održavanja jer se svodi na niz zahvata održavanja koji se izvode nakon što je došlo do kvara i koristi se samo za nevažnu, tj. pomoćnu opremu kod koje zastoj ne utječe izravno na odvijanje proizvodnog procesa. Težine kriterija i podkriterija kod FBM

alternative su najniže jer je financijski najneisplativija i parametri vezani za opremu i procese prilikom primjene takve strategije poprimaju najniže vrijednosti.

Ono što je zapravo bilo teško odlučiti bez primjene softvera za višekriterijalno odlučivanje je odluka između RCM i TPM strategije održavanja. Neke težine kriterija i podkriterija, odnosno klastera i čvorova, imaju prednost kod RCM strategije, dok druge prednost daju TPM strategiji.

Kao rezultat činjenice da je TPM strategiji dana prednost kod kriterija Parametri vezani za opremu i procese (a naročito kod podkriterija OEE), a taj kriterij je kriterij s najvećom težinom, TPM strategija izabrana je za najpovoljniju strategiju održavanja horizontalnog obradnog centra HAAS EC-500.

7. Zaključak

Promjenom koncepta održavanja s tradicionalnog na suvremeno dolazi do poboljšavanja parametara uspješnosti unutar poduzeća koje je takvu promjenu uvelo. Suvremene strategije održavanja karakterizira određivanje dugoročnih ciljeva, prilagodba sustava nagrađivanja strategijskim ciljevima, uspješnija integracija osnovne djelatnosti tvrtke i održavanja te realizacija timskog rada i učenja.

Iako svaka od strategija održavanja ima svoje određene prednosti i nedostatke, u ovom radu je pokazano da prednosti suvremenih strategija održavanja nadilaze njihove nedostatke.

Uzevši u obzir velik broj strategija održavanja koje jedno poduzeće može primijeniti, postavilo se pitanje odabira odgovarajuće strategije. Problemi prilikom izbora odgovarajuće strategije su mnogobrojni. Kao najveći problem pokazao se prevelik broj kriterija koje je potrebno uzeti u obzir kod odabira. Neki od najvažnijih kriterija koji se mogu uzeti u obzir su troškovi, raspoloživost, pouzdanost, ukupna učinkovitost opreme, broj nesreća, potrebne investicije, dodana vrijednost, lokacija održavanja, dostupnost dijelova, profit itd.

Zbog velikog broja kriterija problem odabira strategije održavanja nije moguće riješiti kvantitativnim metodama. Pokazalo se da pri donošenju kvalitetne odluke u praksi dolazi do problema kao što su nedostatak znanja, subjektivnost prilikom davanja prioriteta pojedinim kriterijima i potrebno vrijeme za detaljnu analizu problema odlučivanja. Navedene probleme moguće je rješavati primjenom metoda višekriterijalnog odlučivanja. Zbog toga je odabir strategije održavanja okarakteriziran kao problem višekriterijalnog odlučivanja.

Iz središnjeg dijela rada koji opisuje metode koje se koriste kod višekriterijalnog odlučivanja može se zaključiti da se kao dvije najprikladnije metode za odabir strategije održavanja pokazuju analitički hijerarhijski proces i analitički mrežni proces. Mrežni način modeliranja pokazao se kao kompleksniji problem koji zahtjeva više znanja i iskustva prilikom odabira težina prioriteta. Međutim, rješenje koje daje je kvalitetnije jer hijerarhijski model postavlja problem linearno, a odabir strategije održavanja ima karakteristike nelinearnog problema.

Na konkretnom primjeru odabira strategije održavanja za horizontalni obradni centar HAAS EC-500 istraživanje i analiza rezultata ovog rada pokazala je slijedeće:

1. Analizom povedenom AHP i ANP metodom pokazalo se da su suvremene strategije (RCM,TPM) održavanja u prednosti nad tradicionalnim (korektivno, preventivno) –

- rezultati AHP metode kao najznačajniju strategiju održavanja dali su TPM, a kao najmanje značajnu FBM (korektivno održavanje), potvrdu tih rezultata dobili smo i ANP metodom
2. Kao najvažniji kriteriji za odabir strategije održavanja pokazali su se parametri vezani za opremu i procese (OEE, MTTR, Učestalost kvarova), što je kao rezultat imalo TPM kao najznačajniju alternativu
 3. Analiza osjetljivosti rezultata potvrdila je pretpostavku da tradicionalne strategije danas više skoro ni ne koriste, odnosno koriste se samo za manje nevažne dijelove. Promjenom težina kriterija i podkriterija nije se značajno mijenjao rezultat, tj. koliko god se određeni kriterij povećavao korektivni pristup održavanju u nijednom trenutku nije imao prednost nad ostalim
 4. Iako razlika u rezultatima ANP i AHP metode nije značajna, rezultati koje daje ANP metoda su stabilniji jer je zavisnost između kriterija na višoj razini

LITERATURA

- [1] Habul A.; Pilav Velić A. 2010. Menadžment održavanja u suvremenom poslovanju. Zenica
- [2] Cutter D. M. 2000. Telemaintenance as a Process to increase maintenance effectiveness and efficiency.
- [3] Schiebold K. H. 2008. Future maintenance concepts for land system.
- [4] Muller A.; Marquez A.C., Lung B. 2007. On the concept of e-maintenance: Review and current research,
- [5] Kans. M. 2007 An approach for determining the requirements of computerised maintenance management systems.
- [6] Miletić A. 2002. Dijagnostičke metode i kriteriji za ocjenu elektromehaničkog stanja asinkronog motora. Magistarski rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva. 166.str.
- [7] Kondić V.; Horvat M.; Maroević F. 2013. Primjena dijagnostike kao osnove održavanja po stanju na primjeru motora osobnog automobila. Tehnički glasnik, broj 1, 35.- 41. str.
- [8] Pakasin T. : Dijagnostika u održavanju, FSB, 2004. (promijeniti)
- [9] Mechanical Termography-Monition Condition Monitoring
<http://www.monition.com/mechanical-thermography.html> (30.06.2015.)
- [10] Dye penetrant inspection – Wikipedia – the free encyclopedia:
https://en.wikipedia.org/wiki/Dye_penetrant_inspection (30.06.2015.)
- [11] Belmet97.hr: <http://www.belmet97.hr/proizvod/374/kategorija/150/Fluke-805.html>
(30.06.2015.)
- [12] Shock Pulse Method – Wikipedia - the free encyclopedia:
http://en.wikipedia.org/wiki/Shock_Pulse_Method (20.4.2015.)
- [13] Inženjerski priručnik IP4. 2002. Proizvodno strojarstvo. Organizacija proizvodnje. ŠK. Zagreb
- [14] Hadžović E. 2012. Proces uvođenja TPM koncepta održavanja. Završni rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb. 61.str.

- [15] Rich N.; Bateman N.; Esain A.; Massey L.; Samuel D. 2006. Le evolution lessons from the workplace, Cambridge, University press
- [16] Tudor M. 2007. Samoodržavanje brodskih sustava, Pomorstvo, broj 2, 31. – 38. str
- [17] Pintelon L.; Parodi-Herz A. 2008. Maintenance: An evolutionary perspective
- [18] Štefanić N.; Tošanović N. 2012. Lean proizvodnja. podloge s predavanja. Zagreb
- [19] Barišić N. 2008. Uvođenje Lean sustava u bazno održavanje zrakoplova. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb. 101.str
- [20] Lisjak D.; Bolteković-Tkalec I.; Alić-Kostešić V. 2012. AHP-Metoda inženjerskog odlučivanja. Maintworld. 4, 9.str
- [21] Dujmić D. 2014. Primjena višekriterijalnog odlučivanja u odabiru lokacije skladišta. Diplomski rad. Fakultet strojarstva i brodogradnje. Zagreb. 77 str.
- [22] Kovačević B. 2004. Višekriterijsko odlučivanje u prometu. Magistarski rad. Fakultet prometnih znanosti. 91. str.
- [23] Herceg H. 2011. Višekriterijalno odlučivanje PROMETHEE metodom. Završni rad. FSB. Zagreb. 30.str.
- [24] Begičević N. 2008. Višekriterijski modeli odlučivanja u strateškom planiranju uvođenja e-učenja. Doktorski rad. Fakultet organizacije i informatike. Varaždin. 229. str.
- [25] Lisjak D. 2011. Primjena AHP metode kao alata za optimalni izbor opreme, Zagreb
- [26] Maletić, D. i dr. 2014. An application of analytic hierarchy process (AHP) and sensitivity analysis for maintenance policy selection. Maribor
- [27] Zaim S. i dr. 2012. Maintenance strategy selection using AHP and ANP strategy algorithms: a case study. Istanbul
- [28] Goossens A.J.M.; Basten R.J.I. 2014. Exploring maintenance policy selection using the Analytic Hierarchy Process; an application for naval ships
- [29] HAAS EC-500| HAAS Automation, Inc| CNC Machine Tools.
http://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=EC500&webID=4AXIS_PC_HMC#gsc.ta
[b=0](#) . (23.06.2015.)